

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOGRAFIA E GESTÃO DO TERRITÓRIO

**IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE TENDÊNCIAS DAS VARIÁVEIS
HIDROLÓGICAS E MUDANÇAS NO USO E OCUPAÇÃO DAS TERRAS NO ALTO
CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UBERABA, EM MINAS GERAIS**

VÍTOR DE OLIVEIRA SANTOS

UBERLÂNDIA/MG
2016

VÍTOR DE OLIVEIRA SANTOS

***IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE TENDÊNCIAS DAS VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS
E MUDANÇAS NO USO E OCUPAÇÃO DAS TERRAS NO ALTO CURSO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO UBERABA, EM MINAS GERAIS***

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Geografia e Gestão do Território.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Nishiyama

Uberlândia/MG

INSTITUTO DE GEOGRAFIA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

S237i Santos, Vítor de Oliveira, 1988
2016 Identificação e análise de tendências das variáveis hidrológicas e mudanças no uso e ocupação das terras no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Uberaba, em Minas Gerais / Vítor de Oliveira Santos. - 2016.
129 f. : il.

Orientador: Luiz Nishiyama.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia.
Inclui bibliografia.

1. Geografia - Teses. 2. Solo - Uso - Teses. 3. Bacias hidrográficas - Teses. 4. Rio Uberaba - Abastecimento de água - Teses. I. Nishiyama, Luiz. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDU: 910.1



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Programa de Pós-Graduação em Geografia



VITOR DE OLIVEIRA SANTOS

IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE TENDÊNCIAS DAS VARIÁVEIS
HIDROLÓGICAS E MUDANÇAS NO USO E OCUPAÇÃO DAS
TERRAS NO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
UBERABA, EM MINAS GERAIS

Luiz Nishiyama

Professor Dr. Luiz Nishiyama - UFU

Vera Lúcia Abdala

Professora Dr^a. Vera Lúcia Abdala – IFTM – UBERABA - MG

Vanderlei de Oliveira Ferreira

Professor Dr. Vanderlei de Oliveira Ferreira – UFU

Data: 02/06 de 2016

Resultado: Aprovado

AGRADECIMENTOS

À minha família, aos amigos e colegas que se fizeram presentes.

Ao Prof. Dr. Luiz Nishiyama pela orientação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de estudo concedida, sendo imprescindível para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao Prof. Dr. Vanderlei de Oliveira Ferreira e à Prof.^a Dr.^a Vera Lúcia Abdala, que aceitaram gentilmente compor a banca de avaliação deste trabalho.

RESUMO

Estudos sobre séries históricas de dados hidrológicos são importantes para conhecer a realidade das bacias hidrográficas, quanto à disponibilidade hídrica no decorrer do tempo, quanto à entrada de água no sistema hídrico através das precipitações e quanto às perdas de água através da evapotranspiração, etc. Além disso, conhecer a dinâmica do uso e ocupação das terras nas bacias hidrográficas se torna importante para entender se as externalidades inferem impactos sobre os sistemas hidrológicos, assim como vem sendo amplamente estudado pela comunidade científica. O objetivo desta pesquisa foi identificar a ocorrência de tendências em séries temporais de variáveis hidrológicas (vazão e precipitação) e como se deu a evolução do uso e ocupação das terras no alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba nas últimas três décadas e se esses fatores relacionam entre si. Foram utilizadas as medições de vazões realizadas pela Agência Nacional de Águas – ANA e medições de dados meteorológicos realizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, para a observação do comportamento das variáveis atmosféricas entre os anos de 1978 e 2014 (precipitação). Cada uma das séries históricas foi submetida ao teste de regressão linear e aos testes tendência de Mann-Kendall, Mann-Kendall Sazonal, Curvatura de Sen e de Pettitt, com a finalidade de identificar variações nos dados hidroclimáticos. Com relação ao uso e ocupação das terras no alto curso do rio Uberaba, foram realizados levantamentos em bibliografia e mapeamentos utilizando imagens orbitais dos satélites *Landsat 5* e *8*. Os resultados apontam a redução das vazões de 7, 15, 20, 30 e 45 dias de estiagem e das vazões mínimas mensais e aumento das vazões máximas mensais. Os totais anuais de precipitação, assim como as precipitações no período seco (abril a setembro) também apresentaram tendência de redução. Já as precipitações ocorridas nos meses derradeiros do período chuvoso apresentaram tendência de aumento. É possível que o aumento da taxa de captação de água para o abastecimento público do município de Uberaba seja o principal agente impactante das vazões de estiagem. Com relação ao uso e ocupação das terras, foi constatado aumento de 0,36% para 13,48% das áreas ocupadas por agricultura entre meados da década de 1980 e o ano de 2014, e um aumento de 4,55% para 7,07% da área urbana entre o mesmo período. O uso da terra predominante no alto curso do rio Uberaba é pastagem, cuja área ocupada atinge atualmente pouco mais de 50%. Foram encontrados indícios de que o aumento da área urbana, caracterizado pelo asfaltamento das vias e construção de edificações, esteja aumentando as vazões máximas.

Palavras-chave: Análise de séries temporais; conversão de uso das terras; Recursos hídricos.

ABSTRACT

Studies about hydrological data time series are important to know the river basins' realities, as the water availability over the time, as the entering water in the water system through the rainfall, and how much water is lost through evapotranspiration, etc. Also, knowing the dynamics of the use and occupation of land in the hidrografic basins becomes important to understand whether the externalities infer impacts on hydrological systems, as has been widely studied by the scientific community. This study aimed to identify the occurrence of trends in hydrologic variables time series(stream flow and precipitation), and how use and occupation of land in the upper course of the Uberaba river basin has been evolved over the past three decades and these factors relate to each other. Were used flow measurements performed by the National Agency of Water – ANA and meteorological measurements performed by the National Institute of Meterology – INMET aiming to observe the behavior of atmospheric variables between the years 1978 and 2014 (precipitation). Each time series were subjected to linear regression test and the Mann-Kendall trend test, Mann-Kendall Seasonal, Sen's slope and Pettitt, in order to identify changes in hydro-climatic data. To understand the changes in use and occupation of land in the upper course of the Uberaba river basin, literature surveys were performed and maps were done using images from Landsat 5 and 8 satellites. The results shows a reduction in flow rates of 7, 15, 20, 30 and 45 dry days and the monthly minimum flows and increased maximum monthly flows. The total annual precipitation and precipitation in the dry season (April to September) also showed a downward trend. The precipitations on the late months of the wet season (october to march) showed upward trends. It is possible that the increased water uptake rate for public supply in the city of Uberaba is the most impacting agent of drought flows. Regarding the use and occupation of land, it was found an increase of 0.36% to 13.48% of the areas occupied by agriculture between mid-1980 and the year 2014, and an increase of 4.55% to 7.07% of the urban area of the same period. The most significant land use in the upper course of Uberaba river basin is pasture whose area currently reaches just over 50%. Evidences was found that the increase in the urban area, characterized by the paving of roads and construction of buildings, is increasing the maximum flow rates.

Keywords: Time series analysis; land-use conversion; Water resources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. O Ciclo hidrológico.....	20
Figura 2. Alterações na vazão anual média em função das mudanças no uso das terras.	27
Figura 3. Climograma do município de Uberaba/MG para os anos entre 2010 e 2015.....	60
Figura 4. Totais anuais de precipitação no alto curso da bacia do rio Uberaba entre os anos hidrológicos de 1977-1978 e 2014-2015.....	61
Figura 5. Dados brutos de precipitação no alto curso do rio Uberaba, em mm/periódico (ano).	76
Figura 6. Resultados dos testes de tendência da série histórica de precipitação do período outubro-novembro-dezembro (OND).....	82
Figura 7. Resultados dos testes de tendência da série histórica de precipitação do período janeiro-fevereiro-março (JFM).....	82
Figura 8. Resultados dos testes de tendência da série histórica de precipitação do período abril-maio-junho (AMJ)	83
Figura 9. Resultados dos testes de tendência da série histórica de precipitação do período julho-agosto-setembro (JAS).....	83
Figura 10. Resultados dos testes de tendência da série histórica de precipitação do período chuvoso.....	84
Figura 11. Resultados dos testes de tendência da série histórica de precipitação do período seco.....	84
Figura 12. Resultados dos testes de tendência da série histórica de precipitação dos totais anuais de precipitação.....	85
Figura 13. Resultados dos testes de tendência da série histórica de vazão de 7 dias de estiagem.....	90
Figura 14. Resultados dos testes de tendência da série histórica de vazão de 15 dias de estiagem.....	90
Figura 15. Resultados dos testes de tendência da série histórica de vazão de 20 dias de estiagem.....	91
Figura 16. Resultados dos testes de tendência da série histórica de vazão de 30 dias de estiagem.....	91
Figura 17. Resultados dos testes de tendência da série histórica de vazão de 45 dias de estiagem.....	92

Figura 18. Resultados dos testes de tendência da série histórica das vazões máximas mensais do período chuvoso.....	92
Figura 19. Resultados dos testes de tendência da série histórica das vazões mínimas mensais do período chuvoso.....	93
Figura 20. Resultados dos testes de tendência da série histórica das vazões máximas mensais do período seco.....	93
Figura 21. Resultados dos testes de tendência da série histórica das vazões mínimas mensais do período seco.....	94
Figura 22. Resultados dos testes de tendência da série histórica das vazões mínimas mensais para toda a série histórica.....	94
Figura 23. Resultados dos testes de tendência da série histórica das vazões máximas mensais para toda a série histórica.....	95
Figura 24. Gráfico dos usos e ocupação das terras do alto curso da bacia do rio Uberaba...	111
Figura 25. Usos e ocupação das terras recorrentes no alto curso do rio Uberaba.....	112
Figura 26. Hidrograma vazão x tempo de áreas antes e depois de processo de urbanização.....	118

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Mapa de localização da área do alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba.	49
Mapa 2. Rede de drenagem do Alto Curso do rio Uberaba.....	50
Mapa 3. Mapa geológico do Alto Curso da bacia do rio Uberaba.	53
Mapa 4. Mapa de solos do alto curso da bacia do rio Uberaba	57
Mapa 5. Mapa de hipsometria do alto curso do rio Uberaba.....	58
Mapa 6. Mapa de declividade do alto curso do rio Uberaba.	59
Mapa 7. Mapa de localização dos pontos de outorga no alto curso do rio Uberaba.	64
Mapa 8. Mapa de localização da Estação Fluviométrica Uberaba, da Estação Pluviométrica ANA e da Estação Meteorológica INMET.....	70
Mapa 9. Mapas de uso e ocupação das terras nos anos de 1964 e 1998.....	99
Mapa 10. Mapa de evolução de uso e ocupação das terras entre 1964 e 1998.....	101
Mapa 11. Composições coloridas R4G3B2 das imagens de satélite dos anos de 1985, 1995 e 2005 e R5G4B3 da imagem de do ano de 2015.	103
Mapa 12. Composição RGB e NDVI de imagens de satélite dos anos de 1988 e 2014.....	107
Mapa 13. Área urbana do município de Uberaba em 1985 e 2015.	108
Mapa 14. Uso e ocupação das terras no alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba em 2013.	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Escalas dos processos hidrológicos	42
Tabela 2. Médias mensais de precipitação e temperatura dos anos entre 2010 e 2015 no município de Uberaba.....	60
Tabela 3. Dados acerca do abastecimento público no município de Uberaba/MG	62
Tabela 4. Evolução da população residente no município de Uberaba	63
Tabela 5. Coeficiente de correlação (r) entre as estações de séries temporais com falhas e estações com dados para preenchimento	67
Tabela 6. Resultados dos testes de regressão linear simples, Mann-Kendall, Curvatura de Sen e Pettitt para as séries de precipitação.	81
Tabela 7. Resultados dos testes de regressão linear simples, Mann-Kendall, Mann-Kendall Sazonal, Curvatura de Sen e Pettitt para as séries de vazão.	88
Tabela 8. Evolução do uso das terras na bacia hidrográfica do rio Uberaba.....	99
Tabela 9. Detalhamento da legenda da figura 47.	101
Tabela 10. Comparativo das áreas ocupadas por atividades agrícolas em 1988 e em 2014..	107
Tabela 11. Comparativo entre a área urbana do município de Uberaba no interior da área de estudo nos anos de 1985 e 2015.	109
Tabela 12. Área e porcentagem dos usos sobre superfície terrestre do alto curso da bacia do rio Uberaba.	111

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	13
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E CONCEITUAL	18
2.1. O ciclo hidrológico	18
2.2. O ciclo hidrológico e a bacia hidrográfica	21
2.3. A relação precipitação-vazão	22
2.4. Interferência das mudanças no uso das terras sobre a dinâmica hídrica das bacias hidrográficas	25
2.5. Análise de tendências de séries temporais de dados ambientais	33
2.5.1. Regressão linear simples	34
2.5.2. Testes não-paramétrico de Mann-Kendall, Mann-Kendall Sazonal e Curvatura de Sen	35
2.5.3. Teste de homogeneidade de Pettitt	37
2.6. Escala de análise	42
2.7. Estudos acerca do rio Uberaba	45
CAPÍTULO 3: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	48
3.1. Localização do alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba	48
3.2. Caracterização ambiental da área de estudo	51
CAPÍTULO 4: MATERIAIS E MÉTODOS	65
4.1. Materiais	65
4.1.1. Materiais utilizados para análise hidrológica	65
4.1.2. Materiais utilizados para análise do uso e ocupação das terras	72
4.2. Métodos	72
4.2.1. Metodologia de identificação e análise das tendências	72
4.2.2. Metodologia de identificação das mudanças nos padrões de uso e ocupação das terras	73
CAPÍTULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
5.1. Resultados	75
5.1.1. Exploração dos dados hidrológicos: precipitação e vazão	75
5.1.2. Uso e ocupação das terras no alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba	98
A evolução do uso e ocupação das terras na bacia do rio Uberaba	98
Evolução das atividades agrícolas	106
Evolução da área urbana do município de Uberaba	108
Uso e ocupação das terras no alto curso da bacia do rio Uberaba na atualidade	109
5.2. Discussões	113

CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	120
REFERÊNCIAS	122

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

O tema central dessa dissertação de mestrado está voltado para um problema urgente enfrentado pelos grandes centros urbanos, e que vem se agravando, causando amplas discussões em todas as esferas da sociedade nos últimos anos: a disponibilidade hídrica, seja para o abastecimento público, dessedentação animal, utilização para fins agrícolas ou industriais.

Com o aumento da população residente nas áreas urbanas, juntamente com o desenvolvimento econômico e social, a demanda pela a utilização dos recursos hídricos cresce de maneira voraz. Apesar do aumento da demanda pela água, os sistemas hidrológicos parecem não mais atender plenamente as necessidades impostas pelas atividades humanas, sobretudo nos períodos de estiagem.

O rio Uberaba, localizado na região do Triângulo Mineiro, em Minas Gerais, ilustra bem o cenário de conflito entre disponibilidade e demanda de água. Tanto que no ano de 2003, após a crise hídrica ocorrida no ano anterior devido aos baixos índices de precipitação, o município de Uberaba, cujo abastecimento público é suprido pelas águas do rio Uberaba, teve que conviver com uma disponibilidade de 378 l/s, enquanto a quantidade normal disponibilizada e outorgada pelos órgãos ambientais públicos responsáveis era de 900 l/s (SEMEA, 2004).

Para sanar a crise hídrica estabelecida, ainda em 2003, o município de Uberaba aprovou a transposição das águas do rio Claro para o leito do córrego Saudade, importante afluente do rio Uberaba. O sistema de transposição, então, passou a fornecer uma quantidade de água a uma vazão de 540 l/s à bacia do rio Uberaba (Portaria de Outorga IGAM nº 861/2003), suprindo temporariamente o problema. Comumente, a administração do município utiliza o sistema de transposição para suprimento de água para a cidade de Uberaba, sobretudo nos períodos mais urgentes dos períodos de estiagem, nos meses de agosto e setembro. Há registros que a administração pública não utilizou o sistema apenas nos anos de 2006, 2008, 2009 e 2011 e 2013.

O caso mais grave ocorreu no ano de 2014. Mesmo tendo suas bombas operando 22 horas por dia, o sistema de transposição passou não suprir a demanda de água do município de Uberaba, no que concerne ao abastecimento público. Além de não suprir essa necessidade,

estando 10% abaixo do necessário, o sistema passou a onerar as contas públicas, com um custeio de R\$ 14.000,00 por dia, para levar 400 litros de água por segundo a bacia do rio Uberaba.

O déficit hídrico em 2014 levou o município a decretar estado de emergência de desabastecimento. O decreto, baseado na Lei Municipal nº 10.207, de 19 de novembro de 2007, autorizou o poder público a fiscalizar e multar casos de desperdícios de água, além de restringir a utilização exagerada dos recursos hídricos. Além disso, o município adotou medidas de fechamento da distribuição de água para alguns bairros, ocasionando falta de água em diversos pontos da cidade, sobretudo nos bairros localizados nos pontos altimétricos mais elevados.

Ainda no ano de 2015, o problema não havia sido normalizado. Havia previsão de que os índices de chuvas poderiam ser baixos, assim como no ano de 2014¹. O poder público, então, lançou programas de conscientização da população para a economia de água.

A falta de água para o abastecimento público do município de Uberaba pode ser explicada pela ineficiência dos sistemas existentes para armazenamento e distribuição de água à população frente a baixos eventos de precipitação e pelo aumento populacional vivido pelo município, demonstrando um problema de gestão e investimento. Segundo o IBGE (2015), a população de Uberaba em 1991 era de 211.824 habitantes. No ano de 2010, já se registravam aproximadamente 296.000 habitantes, totalizando um aumento de 40% em 20 anos. No ano de 2014, a população estimada era de 318.813 habitantes (aumento de aproximadamente 50%, tomando como base a população do ano de 1991).

Santos (2010) realizou estudos de tendências de vazão e precipitação em diversas bacias hidrográficas da região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, entre elas a bacia do rio Uberaba. Analisando as vazões do alto curso do referido rio, o autor detectou um ligeiro aumento nas tendências das vazões máximas mensais e diminuição nas das vazões mínimas entre os anos de 1976 e 2005. O autor sugere que esse cenário (aumento das tendências de vazão máxima e diminuição das tendências de vazão mínima) pode ser resultado de uma evolução gradual de impermeabilização dos solos na área de estudo, causada provavelmente

¹ Dados coletados junto ao Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP (2016) apontam que o acumulado de precipitação em 2014 foi de 1226,5 mm e no ano de 2015, 1627,3 mm.

pelo avanço de áreas urbanas, o que diminui a infiltração das águas pluviais nos solos pelos maciços asfaltamentos das vias urbanas e construções de edificações e um consequente aumento do escoamento superficial sobre o solo. Além disso, tem-se a atividade pecuária, que caracteriza como uma das atividades que causa compactação das camadas superficiais dos solos pelo pisoteio do gado (RODRIGUES JÚNIOR et. al., 2009). Dados do projeto Terraclass Cerrado (BRASIL, 2015) apontam que, atualmente, a área urbana do município de Uberaba ocupa 7% da área do alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba e as pastagens, por sua vez, ocupam pouco mais de 50%.

Com relação à qualidade das águas do rio Uberaba, Valle Júnior et. al. (2013) concluíram que as águas do rio Uberaba em alguns pontos se caracterizam como “imprópria para contato primário e para o consumo humano”, se tornando um grande risco para a saúde da população nos períodos de chuva.

Percebe-se então, tomando como base as informações supracitadas, que a situação dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Uberaba se encontra em um momento delicado. Há escassez hídrica e má qualidade da água, no quesito de potabilidade. Em contrapartida há um aumento da demanda de água pela população local e pelas atividades industriais e agropecuárias.

Tomando como pressuposto a afirmativa de Tucci (2003), de que qualquer alteração na superfície das bacias hidrográficas resulta em impactos significativos sobre o escoamento dos cursos d’água, sobretudo no comportamento das enchentes (vazões máximas) e nos períodos de estiagem (vazões mínimas), foi desenvolvida a hipótese deste trabalho. A hipótese é a de que as mudanças do uso das terras ao longo das últimas décadas modificaram a dinâmica hidrológica do rio Uberaba e seus afluentes. Além disso, imagina-se que o sistema de captação de águas do rio Uberaba para o abastecimento público também tem exercido forte pressão nas vazões do referido rio.

Para identificar estas mudanças, decidiu-se utilizar o alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba como área de estudo. Justifica-se a escolha o fato de no alto curso do rio Uberaba estar localizadas as cabeceiras do referido rio, parcela da área urbana do município de Uberaba, o ponto de captação de água para abastecimento público desta cidade, a unidade de

conservação APA rio Uberaba, além de postos de leitura de vazão, precipitação e outros dados climáticos.

Ademais, o objetivo deste trabalho é estudar a dinâmica hidrológica do alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba, através da identificação da ocorrência de tendências em séries temporais de vazão e precipitação e se há indícios de que a evolução do uso e ocupação das terras nos últimos anos têm causado impactos sobre a hidrologia.

Para tanto, foi realizada a análise estatística das vazões em dois cenários: a) análise das tendências das vazões máximas e mínimas mensais; e b) análise das tendências de vazões de 7, 15, 20, 30 e 45 dias de estiagem.

Tucci (2003) afirma que a precipitação é a mais importante variável de entrada nas bacias hidrográficas, e ainda destaca que as mudanças nos índices pluviométricos resultam em um impacto relativo diferenciado sobre a vazão das bacias hidrográficas. Por isso, decidiu-se analisar as tendências nos índices de chuva, para identificar se houve mudança no comportamento dessa variável.

Todos as séries históricas de dados hidroclimáticos foram submetidos aos testes de tendência de regressão linear simples e os testes estatísticos não-paramétricos de Mann-Kendall, Mann-Kendall Sazonal (MKS), *Sen's slope*, e Pettitt, conforme trabalhos de Vilanova (2014), Lopes e Silva (2013), Penereiro e Orlando (2013), Meschiatti et. al. (2012), Pereira (2012), Ferrari (2012), Freitas et. al. (2010), Karpouzos et. al. (2010), Back (2001), Groppo et. al. (2001), entre outros.

Para o diagnóstico multitemporal do uso das terras no alto curso da bacia do rio Uberaba, foi realizado um levantamento em pesquisa bibliográfica, e os resultados de pesquisas anteriores como os encontrados por Cruz (2003) e pelo projeto TerraClass (2015) serviram de base para o conhecimento dos padrões de uso das terras na área de estudo. Além disso, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5 e 8 para identificação de alguns usos das terras na década de 1980 e em 2014 e o método do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para identificar a evolução das áreas agrícolas nesse mesmo período.

No capítulo 2 deste trabalho, encontra-se fundamentação teórica e conceitual acerca das dinâmicas hidrológicas (relação precipitação-vazão, uso da terra e sua consequência no escoamento), da análise estatística de dados ambientais, principalmente vazão e precipitação, utilizando diversas metodologias tais como a regressão linear, e dos testes não-paramétricos de Mann-Kendall, Mann-Kendall Sazonal, Curvatura de Sen (*Sen's slope*) e teste de homogeneidade de Pettitt.

O capítulo 3 consiste na caracterização e descrição da área de estudo.

No capítulo 4 constam os materiais e métodos empregados nesta dissertação. Os programas computacionais utilizados para o tratamento dos dados, as metodologias de identificação e análise das tendências, preenchimento das falhas nos dados adquiridos, metodologias de mapeamento, etc.

O capítulo 5 se baseia nos resultados análise exploratória dos dados de vazão nos cenários construídos (vazões máximas e mínimas mensais e vazões em diferentes dias de estiagem) e dos dados de precipitação, buscando identificar e analisar as tendências nas séries históricas, através do teste de regressão linear e dos testes de Mann-Kendall, Mann-Kendall Sazonal (MKS) e do teste de Pettitt. Sendo este último capaz de localizar o ponto onde houve uma mudança brusca na média de determinada série temporal (BACK, 2001). Neste capítulo também constam os resultados da análise do uso e ocupação das terras na área de estudo nas últimas décadas.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E CONCEITUAL

2.1. O ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico é compreendido como um processo natural, em escala global, onde a água circula com uma dinâmica fechada entre a superfície terrestre e a atmosfera, sofrendo influência tanto da energia solar quanto da gravidade e rotação terrestre (SILVEIRA, 2009).

A atmosfera é dividida em diversas partes tal como a troposfera, estratosfera, etc., cada qual com sua função. Por exemplo, a estratosfera, que possui em média 60 km de espessura é de suma importância para o sistema, pois nela está localizada a camada de ozônio, que tem como função regular a radiação solar incidente na Terra. A radiação solar e seus atributos eletromagnéticos são importante fonte de energia para o ciclo hidrológico e outros processos naturais, como a fotossíntese. A troposfera, por sua vez, é a camada da atmosfera na qual o oxigênio, essencial para a existência humana e biótica, está consistido. É neste segmento que também ocorrem os elementos fundamentais do ciclo hidrológico, como a precipitação, evaporação, escoamento superficial, etc.

O processo de troca entre a água, em seus diferentes estados físicos, entre a atmosfera e a superfície terrestre ocorre em dois sentidos. Primeiramente no sentido superfície/atmosfera, na qual fluxo de água ocorre na forma de vapor d'água, consequência dos processos de evapotranspiração. O outro sentido segue o caminho atmosfera/superfície, na qual a transferência de água pode ocorrer em qualquer dos seus estados físicos (principalmente na forma de precipitação líquida).

Silveira (2009) lembra que o ciclo hidrológico pode ser considerado um sistema fechado em nível global, pois os volumes de água evaporados em determinado ponto da superfície terrestre podem precipitar em outro local, distante dali. Principalmente devido a movimentação continua que apresenta dinâmicas distintas, tanto na atmosfera quanto na superfície terrestre. Quando ocorre uma precipitação em determinado local, uma fração desse montante é evaporada, a outra parte escoa para os mares, por exemplo.

Para Silveira (2009), pode-se descrever o ciclo hidrológico partindo do vapor d'água que está presente na atmosfera e que

[...] sob determinadas condições metereológicas, condensa-se, formando microgotículas de água que se mantêm suspensas no ar, devido à turbulência natural. O agrupamento das microgotículas, que são visíveis com o vapor d'água, que é invisível, mais eventuais partículas de poeira e gelo, forma um aerossol que é chamado de nuvem ou de nevoeiro. [...]Através da dinâmica das massas de ar, acontece a principal transferência de água da atmosfera, para a superfície terrestre que é a precipitação.

A forma mais comum de precipitação é a chuva. Este tipo de precipitação acontece quando as gotículas de água nas nuvens crescem e se aglutinam. Caso a nuvem apresente boas condições de umidade, além de poeira e gelo este processo é favorecido. Assim sendo, é formada uma quantidade significativa de gotas que possuem peso e tamanho suficientes para que sofram a ação da gravidade e se precipitem.

No trajeto atmosfera/superfície terrestre, a água, seja na forma de chuva, gelo ou granizo, pode sofrer um processo de evaporação. Em determinados locais, essa evaporação é tão intensa que a precipitação pode ser totalmente evaporada, antes de alcançar a superfície da Terra.

Um processo importante que ocorre quando uma porção do volume precipitado cai sobre o solo ou sobre a cobertura vegetal, é o processo de interceptação em folhas ou em caules, onde a água interceptada pode evaporar. Quando a capacidade de retenção de águas nas folhas e superfícies vegetais é superada ou quando sofrem ação eólica, a água ali retida vai em direção ao solo.

Sendo assim, quando a água atinge o solo, ela pode percorrer diversos caminhos. Os solos apresentam características peculiares de porosidade e toda precipitação que ali chega é infiltrada (processo de infiltração) até o ponto de saturação desse solo. Quando a saturação superficial do solo ocorre, o solo vai sendo saturado nas suas camadas mais profundas. Essa saturação chega a tal ponto que os níveis de infiltração decrescem até determinada taxa, e a água precipitada não infiltrada caracteriza o início do escoamento superficial. Nos solos urbanos, de grande nível de impermeabilização, a água sequer é infiltrada, escoando superficialmente até o sistema de drenagem das cidades. A partir daí, somente, alcançam os cursos d'água.

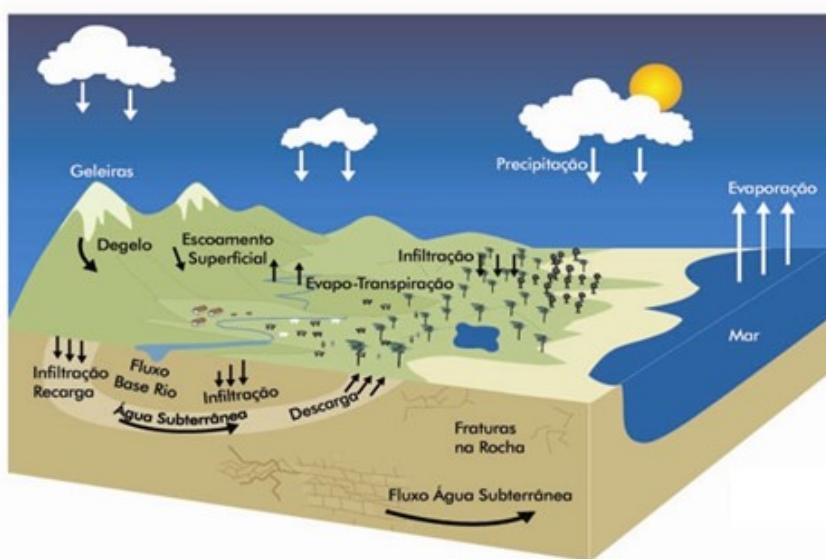
A água infiltrada, ao umidificar o solo, também possui grande importância para os vegetais, que absorve parte dessa água pelas suas raízes e a devolve, quase em sua totalidade, para a

atmosfera pelo processo de transpiração (como vapor d'água). A porção de água não aproveitada pelas plantas percola até o lençol freático, que posteriormente retribui para o escoamento dos rios.

O escoamento superficial é levado, mediante força gravitacional para os pontos altimétricos mais baixos. Em seu início, o escoamento superficial apresenta-se como pequenos filetes de água que se moldam nos minúsculos relevos do solo. As partículas de solo são erodidas de tal forma pelos filetes de água que, quando associadas à topografia, moldam uma microrrede de drenagem efêmera, que posteriormente converge para cursos d'água considerados mais estáveis, como os rios. A vegetação existente na superfície do solo representa um obstáculo para o escoamento superficial, facilitando a infiltração. Essa vegetação pode reduzir a energia cinética gerada pelo impacto das gotas de chuva sobre o solo, além de diminuir a incidência de carreamento dos particulados do solo para os cursos d'água, dificultando, assim, a ocorrência de erosões.

Em qualquer ponto ou em qualquer momento da circulação da água na superfície terrestre, o processo de evaporação para a atmosfera ocorre, fechando o ciclo hidrológico acima descrito. Na figura 1 podemos visualizar o ciclo hidrológico em suas diversas fases:

Figura 1. O Ciclo hidrológico.



Fonte: (MMA, 2015)

2.2. O ciclo hidrológico e a bacia hidrográfica

Silveira (2009) define uma bacia hidrográfica como um “sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório”. Os volumes evaporados, transpirados e infiltrados profundamente são considerados perdas intermediárias. Neste mesmo sentido, Karmann (2003) afirma que uma bacia hidrográfica é uma zona natural de captação de água pluvial, caracterizada pela existência de divisores topográficos, na qual toda a água captada segue para um único ponto de saída: o exutório.

Sabe-se que escoamento superficial ocorre em velocidade maior e o escoamento subterrâneo é mais lento. O escoamento superficial, caso seja plotado em um plano cartesiano de fluxos/tempo, pode ser melhor identificado devido à forte elevação dos níveis de vazão em um curto espaço de tempo. Após atingir o pico, os valores do escoamento superficial decrescem gradativamente. A diferenciação entre escoamento superficial e escoamento subterrâneo é importante, pois permite quantificar e analisar de maneira separada o escoamento que possui maior magnitude em um período de cheia (superficial), que pode ser mais bem entendido quando consideramos a relação de causa-efeito com a precipitação.

Segundo Silveira (2009), o principal papel hidrológico de uma bacia hidrográfica é o de converter determinada entrada de volume concentrada no tempo, que é a precipitação, em uma saída de água (escoamento) de maneira melhor distribuída no tempo.

Tucci (2003) afirma que os processos hidrológicos nas bacias hidrográficas se caracterizam por possuírem duas principais direções: vertical e longitudinal. O fluxo vertical abrange os processos de precipitação, evapotranspiração, umidade e fluxo de água no solo. Os fluxos longitudinais são representados pelo escoamento em direção dos “gradientes de superfície” (escoamento superficial e rios) e do subsolo, através do escoamento subterrâneo.

Além dos processos naturais do ciclo hidrológico citados anteriormente, a interferência humana gera consequências significativas sobre os sistemas hídricos. Tucci (2003) considera que a maior dificuldade na representação dos processos hidrológicos está na grande heterogeneidade dos sistemas neles envolvidos, tal como a ampla variabilidade de solos e cobertura vegetal, além da ação antrópica.

2.3. A relação precipitação-vazão

Calasans et. al. (2005, p.85), afirmam que os principais motivos que direcionam estudos de vazões resultantes de eventos de precipitação estão na “possibilidade de fornecimento de informações necessárias para que previsões e previsões sejam realizadas”. Os autores definem “previsões” como estimativas da grandeza de determinada característica relacionada à vazão, que está associada a uma probabilidade de ser excedida ou pode ser produzida por algum evento de precipitação. Como “previsão” os autores definem como sendo “estimativas do comportamento da vazão a um evento que está ocorrendo ou que seja prevista sua ocorrência” (p. 85).

A resposta de determinado curso d’água, caracterizada pela vazão, frente a um evento de precipitação é definida pela quantificação das taxas de entrada de água na bacia hidrográfica, mensurada em um ou mais pontos e da quantidade de vazão medida em um ponto do curso d’água estudado.

A relação precipitação/vazão é mais bem caracterizada quando consideramos a “bacia hidrográfica como se fosse uma ‘caixa preta’, isto é, como uma função ou algoritmo capaz de transformar uma contribuição (precipitação) em produção (vazão), ambas apresentando variáveis temporais” (CALASANS et. al. 2005, p. 86). Sendo assim, a vazão é caracterizada como uma resposta agregada no tempo e espaço. É estabelecida pela variação temporal e espacial da taxa de contribuição de água na bacia hidrográfica e também pelo tempo que cada mililitro precipitado leva para se deslocar do ponto de precipitação até o curso d’água, e a partir daí, até o local de medição.

Investigando os processos hidrológicos, Garcez e Alvarez (1988) apud Calasans et. al. (2005) sumarizaram pontos importantes da relação precipitação/vazão. Segundo os autores citados, as vazões anuais (total de volume escoado por ano) variam de acordo com a área de drenagem. Um trecho de curso d’água estudado, caso possua 10 km² de área de drenagem, por exemplo, apresenta menor vazão anual do que outro ponto do mesmo curso d’água a jusante. Os autores afirmam também que as vazões instantâneas são mais sensíveis, ou seja, podem ser mais facilmente notadas quanto menor for a área da bacia.

Com relação às vazões máximas, os autores acima citados afirmam que as vazões máximas são mais dependentes da intensidade dos eventos de precipitação quanto menor for a área da bacia. Em grandes bacias, as chuvas que causam maiores inundações são as de menor intensidade, mas que tenham um maior tempo de precipitação e uma área de precipitação mais ampla. Quanto ao escoamento superficial, afirmam que este será maior quanto menor for a capacidade de infiltração do solo.

A pluviosidade é a mais importante variável de entrada de água nas bacias hidrográficas e mudanças na precipitação incidem um impacto relativo sobre a vazão nas bacias hidrográficas. Nos intervalos de tempo que apresentam valores extremos de cheias ou estiagens, a resposta hidrológica da bacia hidrográfica aumenta com relação à variação da precipitação, principalmente porque há uma relação de proporcionalidade entre as precipitações e as respostas hidrológicas (TUCCI, 2003). Neste estudo, é exemplificado o caso dos anos mais úmidos, quando o aumento da precipitação gera um aumento nos índices de vazão, principalmente pelo ínfimo aumento da infiltração de água no solo e a diminuição da evapotranspiração, o que gera um maior escoamento. Nessa mesma linha, exemplifica-se o caso dos anos mais secos, quando a redução da precipitação gera um aumento da evapotranspiração, devido às necessidades fisiológicas das plantas, reduzindo assim as vazões dos rios.

Logo, mudanças bruscas nos regimes de precipitação podem incidir em mudanças nos índices de vazão dos rios. Ferreira (2007, p.206), afirma que “as vazões respondem razoavelmente à variabilidade temporal e espacial da precipitação. Grandes anomalias de precipitação quase sempre resultam em anomalias de descarga de rios”.

Uliana et. al. (2015) submeteram dados de precipitação e vazão, coletados em estações hidrométricas localizadas na cidade de Alegre, no estado do Espírito Santo, a testes estatísticos para verificar a existência de tendências. Os autores detectaram que as vazões medidas nos meses de outubro, a partir do ano de 1963, aumentaram 34,2%. As precipitações, também apresentaram tendência de aumento nos meses de agosto e setembro, a partir dos anos de 1967 e 1964, respectivamente. Segundo os autores, existe a possibilidade de o aumento da vazão média do mês de outubro ser consequência do aumento das precipitações ocorridas nos meses de agosto e setembro.

Por sua vez, Macêdo et. al. (2013) analisaram a relação entre vazão e precipitação na bacia hidrográfica do rioxinho do Rôla, afluente do rio do Acre, localizada na porção ocidental da região amazônica. Segundo os autores, a variação das chuvas na área de estudo causa extremos de vazão nos cursos d’água componentes da bacia hidrográfica citada, como, por exemplo, nas cheias ocorridas entre 2008 e 2012 e na escassez hídrica verificada em 2005. Correlacionando os dados de vazão e precipitação, os autores chegaram a um coeficiente $r^2 = 0,52$, para o intervalo entre os anos de 1998 e 2008, demonstrando uma correlação aceitável entre as variáveis. Entretanto, a correlação apresentada, de acordo com Macêdo et. al. (2013), é influenciada pelas condições pedológicas de restrição de drenagem do solo, relevo, retirada da vegetação nativa e, por fim, pelas características de cabeceira da bacia hidrográfica.

Githui et. al. (2005) analisaram dados fluvio-pluviométricos da bacia hidrográfica do rio Yala, localizado na África Oriental, com uma área total de 3280 km², sendo componente da bacia hidrográfica do rio Nilo. Os dados compreenderam o período entre 1963 a 1998. Os autores utilizaram os métodos estatísticos de erro médio, erro médio quadrático, erro médio absoluto e porcentagem de erro absoluto para tratamento dos dados e o teste de Mann-Kendall com a tentativa de identificar tendências nos dados de chuva e vazão. O estudo dos dados pluviométricos indicou uma tendência de diminuição, com significância estatística, em 4 das 10 estações pluviométricas que disponibilizam os dados de chuva. Em contrapartida, as duas estações fluviométricas estudadas apresentaram resultados distintos. A estação mais a montante apresentou tendência de diminuição dos índices de vazão, e a estação mais próxima à foz do rio Yala, apresentou tendência significativa de aumento. Os autores sugerem que independente da detecção ou não de tendências nos dados ambientais, outros estudos devem ser feitos para analisar os efeitos antrópicos sobre os sistemas hidrológicos.

Analizando séries temporais de chuva e vazão da bacia hidrográfica do rio Camaquã, na porção centro-sul do estado do Rio Grande do Sul, Baggio et. al. (2012) detectaram que os índices de chuva e precipitação apresentaram de tendências de aumento em seus respectivos volumes, principalmente após o ano de 1990, aproximadamente. As séries históricas analisadas abrangearam o intervalo entre os anos de 1977 e 2004 e os autores utilizaram os métodos de D’agostino, Kolmogorov-Smirnov, Lillieforts e Shapiro-Wilk para analisar a normalidade da série histórica. Além disso, o teste de T-Student foi utilizado para verificar a significância e a mudança de tendência entre os períodos.

Como visto acima, existe uma relação entre o comportamento dos índices de vazão em relação à variabilidade das precipitações, o que corrobora a assertiva de Tucci (2003), quando o mesmo afirma que mudanças na precipitação incidem em impactos relativos sobre o escoamento dos rios e outros cursos d'água. Independentemente da metodologia utilizada em pesquisas para a análise estatística da relação entre as variáveis chuva/precipitação, os escoamentos dos rios respondem à variabilidade das precipitações. Nos períodos de chuvas intensas, até com a ocorrência de precipitações acima das médias, os cursos d'água tendem a apresentar vazões e cotas mais altas. Em contrapartida, nos períodos de estiagem, quando as precipitações são reduzidas, os índices de vazão e cota dos cursos d'água tendem, também a ser menores.

Porém, além dos vetores naturais, outros fatores podem exercer modificações nas características hidrológicas das bacias hidrográficas. A atividade do homem surge como esse modificador e os principais fatores antrópicos que causam mudanças na dinâmica hídrica das bacias hidrográficas são o desmatamento, a impermeabilização dos solos, seja causada pelo pisoteio dos gados nas pastagens ou pelo avanço das áreas urbanas (SANTOS e FERREIRA, 2010).

2.4. Interferência das mudanças no uso das terras sobre a dinâmica hídrica das bacias hidrográficas

Mudanças no uso e ocupação das terras têm sido tema de diversas pesquisas a partir da década de 1990 pelo fato de sua relevância na compreensão dos processos ambientais, sociais e econômicos. Desde os primórdios da humanidade, sabe-se que a interação do homem com o meio ambiente provocou diversas mudanças no uso das terras, o que trouxe benefícios à sociedade, porém causou danos aos ecossistemas e às bacias hidrográficas.

Na literatura se encontra pouca comprovação das consequências que as mudanças no perfil de uso e ocupação das terras geram em grandes bacias hidrográficas. A maioria das pesquisas utilizam pequenas bacias (até dezenas de hectares de área) como objeto de estudo e em nível global, o conhecimento do comportamento hidrológico dos biomas nacionais é bastante reduzido, sobretudo pela ineficácia dos monitoramentos (TUCCI, 2003).

As atividades humanas incidem em aumento ou diminuição na quantidade de água escoada superficialmente, influenciando, sobretudo, o regime fluvial e o transporte de particulados do solo. Sendo assim, pode ser que alterações na superfície das bacias hidrográficas resultem em impactos significativos sobre o escoamento dos cursos d'água. Tais impactos são mais caracterizados pelas consequências que incidem no comportamento das enchentes (vazões máximas) e das vazões nos períodos de estiagem (vazões mínimas) (CHRISTOFOLLETTI, 1981; TUCCI, 2003).

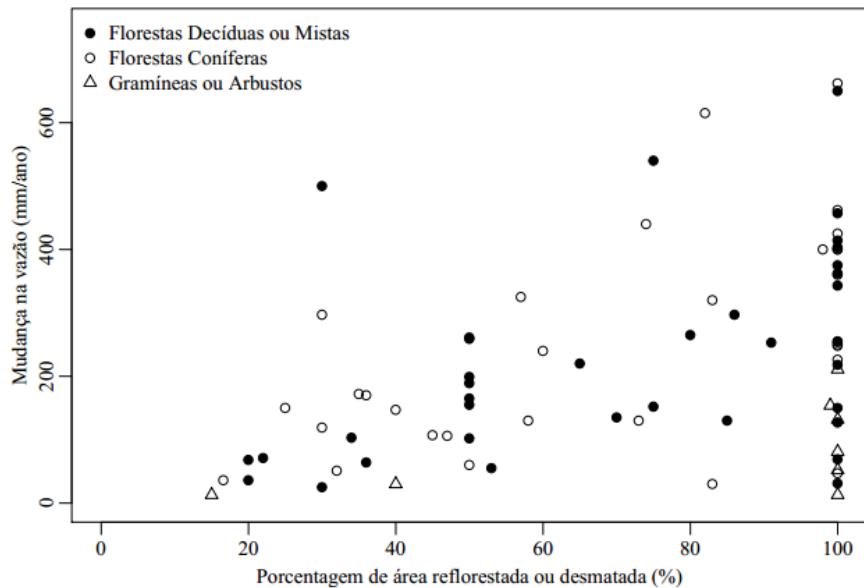
Além das mudanças no uso das terras das bacias hidrográficas, outros fatores geram impactos nas vazões dos cursos d'água, como a variabilidade climática, construção de reservatórios para fins energéticos, incremento da procura de água pelos sistemas agrícolas que dependem da irrigação, entre outros fatores (COSTA et. al., 2003).

Portanto, existe uma necessidade de se compreender o funcionamento e como se processam as mudanças na superfície das bacias hidrográficas ao longo do tempo (DRAMSTAD et. al., 1996 apud TURETTA, 2011).

Um dos trabalhos pioneiros nesse tema foi realizado por Hibbert (1967). Utilizando 39 bacias hidrográficas, com áreas variando de 0,02 a 2.000 km², o autor chegou às seguintes conclusões: a) reduções das áreas florestadas geram aumentos na quantidade de água; b) a substituição de áreas com pouca vegetação por áreas florestadas causa diminuição na quantidade de água.

Bosch e Hewlett (1982) introduziram mais 55 bacias hidrográficas ao monitoramento realizado por Hibbert (1967), se tornando referência nos estudos dos impactos das mudanças do uso das terras sobre os sistemas hídricos. Bayer (2014) reorganizou os dados obtidos por Bosch e Hewlett (1982), que foram primeiramente organizados em tabelas e gráficos, nos quais podem ser identificadas as relações entre a porcentagem da área das bacias hidrográficas com vegetação alterada (desmatamento e/ou reflorestamento), com a alteração das vazões médias de longo termo (Figura 3). No trabalho de Bayer (2014) observa-se a dispersão dos resultados oriundos dos estudos experimentais, mas percebe-se principalmente o aumento das vazões médias em consequência do incremento de áreas desmatadas. Tal variabilidade pode estar relacionada ao fato dos experimentos terem sido realizados em diversos locais, com climas distintos e outras características naturais diferentes.

Figura 2. Alterações na vazão anual média em função das mudanças no uso das terras.



Fonte: Bayer (2014) adaptado de Bosch e Hewlett (1982).

Segundo Bosch e Hewlett (1982) apud Bayer (2014), a interferência da vegetação sobre as vazões médias das bacias hidrográficas estudadas é alterada pelas características naturais das plantas, ocorrendo um decréscimo da influência na seguinte ordem: florestas coníferas, vegetação lenhosa decídua, capoeiras e pastagens. Para uma alteração em 10% da cobertura florestal, a magnitude média de interferência das florestas coníferas e eucaliptos é de 40 mm/ano na vazão de longo termo e 25 mm/ano e 10 mm/ano para as áreas de vegetação lenhosa e capoeiras/pastagens, respectivamente. Então, sob a hipótese de desmatamento de 100% da vegetação de uma bacia hidrográfica obtém-se uma alteração na vazão média de 100 mm/ano para as capoeiras, as áreas de vegetação decídua atingiriam uma alteração de 250 mm/ano e as florestas coníferas e eucaliptos, por sua vez, 400 mm/ano (BAYER, 2014).

As alterações sobre o uso e manejo das terras em bacias hidrográficas podem ser classificadas da seguinte maneira, conforme Tucci (2003):

- Tipo de mudanças;
- Tipo uso da superfície;
- A forma de desmatamento.

No quadro 1, pode-se encontrar as classificações mais relevantes juntamente com as principais tipologias de manejo das terras.

Quadro 1. Classificação sobre a mudança e uso do solo.

Classificação	Tipos
Mudança na superfície	Desmatamento Reflorestamento Impermeabilização Urbanização
O uso da superfície	Reflorestamento para exploração sistemática Desmatamento: extração de madeira, cultura de subsistência; culturas anuais; culturas permanentes
Método de alteração	Queimada Manual Equipamentos

Fonte: Tucci (2003)

Do rol de mudanças e uso da superfície do solo elencadas acima, os que parecem incidir maiores impactos sobre o sistemas hídricos são o desmatamento e a impermeabilização dos solos. Na literatura há um consenso sobre tais efeitos. Os estudos de Tucci (2003) apontam que nas áreas desmatadas, o escoamento médio tende a aumentar, sobretudo pela redução nos índices de evapotranspiração, porém esses efeitos parecem se restringir às bacias hidrográficas de menor porte. Para o autor, a maneira como o desmatamento é realizado e os tipos de cobertura que ocupa as áreas desmatadas são importantes fatores para a mudança da dinâmica hídrica. Dias e Nortcliff apud Tucci (2003) encontraram consideráveis correlações entre o número de maquinário utilizados no desmatamento e o grau de compactação dos solos agora expostos. Além do impacto nas vazões, o desmatamento também ocasiona mudanças no albedo, aumentando-o devido à ausência da cobertura vegetal da floresta para absorver a radiação e atenuar a reflexão da energia solar. Com o desmatamento, a temperatura tende também a flutuar mais, o volume de evaporação é reduzido, devido à retirada dos indivíduos arbóreos que gera consequente redução da interceptação vegetal (TUCCI, 2003).

A impermeabilização dos solos, por sua vez, ocorre de maneira mais ativa nas bacias hidrográficas urbanas, devido à dinâmica relativa às próprias cidades. Alto índice de construções, pavimentação das vias, canalização de cursos d'água, sistemas de drenagem de águas pluviais inadequadas, entre outras. As águas pluviais, sendo assim, são direcionadas a um escoamento superficial, com pouca ou nenhuma infiltração de água nos solos.

É o que afirma Tucci (2002). Neste estudo, comprova-se que processo de urbanização pode causar o aumento das vazões máximas (em até sete vezes), consequência do aumento da

capacidade de escoamento pelas canalizações e impermeabilização das superfícies. Além disso, há um incremento na produção de sedimentos, fato ocasionado pela desproteção das superfícies e produção de resíduos sólidos (lixo urbano) das cidades. Outro fato a ser considerado é a queda dos índices de qualidade das águas devido à lavagem das ruas, ao transporte de particulados sólidos, às ligações inadequadas de esgotamento sanitário, etc.

Com relação aos impactos ocasionados pela implantação de culturas plantadas, sejam as culturas permanentes, temporárias, reflorestamento de pinus/eucalipto há certa controvérsia. Os impactos dessas atividades parecem estar ligados muito mais ao manejo das terras agrícolas do que o tipo de cultura propriamente dito, o que pode ser encontrado nos estudos de Pereira (2012), Tadeu (2014) e Tucci (2003).

Percebe-se, então, que qualquer mudança no uso e ocupação das terras sejam elas no ambiente urbano ou rural podem gerar consequências nas vazões, no balanço hídrico e na qualidade das bacias hidrográficas. Esta relação tem sido importante objeto de estudos principalmente a partir da segunda metade do século XX. Chega-se a essa conclusão devido aos diversos trabalhos científicos encontrados na literatura e que ajudaram a compor esse referencial teórico.

Santos et. al. (2010) classificaram o uso e ocupação das terras da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite (766,8 km² de área de drenagem), importante manancial que provem o abastecimento urbano da cidade de Goiânia, em Goiás, nos anos de 1979, 1989, 1997 e 2005, com a finalidade de identificar relações entre a evolução dos usos das terras e os índices de vazão e precipitação. Segundo os autores, na área de estudo a vegetação nativa, composta por predominantemente por Cerrado e Cerradão, foi reduzida em 17,8%, as áreas urbanizadas e as áreas destinadas à agricultura aumentaram em 6,6 e 15,2%, respectivamente. As áreas de pastagens, apesar de ser predominantes no ribeirão João Leite, reduziram sensivelmente, atingido uma porcentagem de 35,9% da bacia, sendo que em 1989, a mesma atingira 43,9%. Com relação à vazão, foi identificada uma queda significativa na tendência, explicada relativamente pela redução das precipitações e pelo aumento das captações de água do ribeirão João Leite para abastecimento público. Apesar da dificuldade na associação entre a variação do escoamento e as mudanças no uso das terras, os autores obtiveram um coeficiente de determinação R² acima de 0,75, considerado alto.

Zhi et. al. (2009) estudaram os efeitos das componentes climáticas e das mudanças no uso e ocupação das terras na microbacia do rio Heihe, localizada na planície de Loess, na China. Utilizando o programa de modelagem hidrológica *Soil and Water Assessment Tool – SWAT*, os autores detectaram que no período entre 1981 e 2000 cerca de 4,5% da área total da microbacia do rio Heihe foi substituída de vegetação nativa (composta por *shrubland* e *woodland*)² para pastagens. Com relação aos aspectos climatológicos, os autores detectaram aumento considerável nas tendências de temperatura nos meses de fevereiro, julho e setembro. Em contrapartida, houve uma diminuição dos índices pluviométricos nos meses de setembro e dezembro. De maneira geral, as alterações no uso das terras e do clima diminuíram o escoamento em 9,6% e 95,8%, respectivamente. Além disso, a quantidade de água nos solos diminuiu 18,8% pela mudança no uso das terras e 77,1% pelas alterações climáticas. A conversão de uso das terras ainda alterou os teores de evapotranspiração a uma taxa de aumento de 8,0%, enquanto as variabilidades climáticas diminuíram as taxas de evapotranspiração em 103%.

Keenan et. al. (2006) estudaram o impacto que a transformação de áreas agrícolas em reflorestamentos gera nos escoamentos e nas vazões de bacias hidrográficas localizadas na região do Green Triangle, no sul da Austrália. A conversão de áreas agrícolas em reflorestamentos de pinus e eucalipto geraram uma redução das vazões. Segundo os autores, naquela região os reflorestamentos ainda são em pequena escala, porém se a conversão de áreas de agricultura em reflorestamentos for intensificada, as vazões dos rios podem diminuir de forma a gerar consequências significativas para o abastecimento público local.

Com o objetivo de descobrir se as mudanças no uso das terras ou os índices de precipitação geraram consequências nas vazões do alto curso da bacia do Gilgel Abbay, afluente do alto curso do rio Nilo, na Etiópia, Rientjes et. al. (2011) analisaram dados de vazão que abrangeram o período entre 1973 e 2005 e ainda mapearam de modo multitemporal a bacia supracitada nos anos de 1973, 1986 e 2001.

Em 1973, as áreas de vegetação com predominância de espécies florestais ocupavam 50,9% de 1656 km², área total da bacia do rio Gilgel Abbay. Em 2001, essas áreas abrangiam 16,7%, demonstrando forte queda. Essa redução ocorreu principalmente pela expansão das atividades

² Segundo o dicionário Michalis Inglês-Português, os termos *shrubland* e *woodland* se referem, respectivamente, a campo de arbustos e floresta de baixa densidade.

agrícolas na região em questão, que passaram de 28,2% da área total da bacia em 1973 para 62,7% em 2001. Explorando os dados de precipitação, Rientjes et. al. (2011) concluíram que as chuvas no período chuvoso (junho, julho e agosto) apresentaram tendência de aumento. Em contrapartida, para dados de precipitação dos meses restantes, os autores detectaram tendência de redução. As vazões anuais, no período entre 1973 e 2005, reagiram às quedas da precipitação e registraram uma redução de 12,1%, e houve também reduções na curva de permanência de vazões nessa bacia. Segundo os autores, a redução das vazões foi consequência da redução da precipitação, juntamente com o aumento das áreas de agricultura, ocorrido em detrimento das áreas de vegetação nativa.

Mutie et. al. (2006) procuraram investigar se as mudanças no uso das terras geraram algum tipo de consequência sobre o sistema hídrico da bacia do rio Mara (área de drenagem de 13.834 km²), no Quênia. Os autores detectaram mudanças sem precedentes no uso das terras nas nascentes dessa bacia, o que se caracteriza como uma forte ameaça à conservação dos recursos naturais.

Na bacia hidrográfica do rio Mara, entre os anos de 1973 e 2000 ocorreu em média uma redução de 35% das áreas de floresta. As savanas, paisagem típica no Quênia, reduziram 26%, e o mesmo aconteceu com as áreas de pastagem (redução de 45%), ambos os fatos altamente impactantes. Em contrapartida, as áreas de agricultura aumentaram em mais de 100%. Utilizando métodos de modelagem hidrológica para procurar os efeitos que tais conversões nos usos das terras geraram nas vazões do rio Mara, descobriu-se que o cenário de uso das terras no ano 2000, gerou picos mais elevados das vazões de cheia e o tempo de deslocamento de água sobre o solo foi mais rápido, quando comparado ao cenário de uso das terras de 1973. Esse resultado indica uma pressão que a alteração na superfície da bacia do rio Mara exerceu no sistema hídrico (MUTIE et. al. 2006).

Na bacia hidrográfica do rio Tocantins, localizada na porção central do território brasileiro, houveram registros que na década de 1960, mais de 30% da área total da bacia (767.000 km²) eram ocupados por áreas de agricultura. Já no ano de 1995, as atividades agrícolas alcançaram um aumento significativo e mais de 49% da área total da bacia eram ocupadas por pastagens e áreas agrícolas. Comparando os índices de chuva e vazão em dois períodos (período 1: 1949-1968 e; período 2: 1979-1998), Costa et. al. (2003), detectaram que não houve diferenças significativas nas precipitações entre os dois períodos. Contudo, as descargas médias anuais

no período 2 foram 24% maiores do que no período 1, assim como as vazões nos períodos de cheia, que foram 28% maiores. Já nos períodos de seca, as vazões se apresentaram 30% maiores no período 2. Os autores concluíram que a redução da infiltração após as mudanças no uso das terras geraram um aumento do escoamento superficial durante as épocas chuvosas.

Groppi et. al. (2005) analisaram dados de diversas bacias hidrográficas no estado de São Paulo e constataram que existe um aumento significativo das precipitações em várias dessas bacias. Quando foram analisados dados entre 1947 a 1997, as vazões acompanharam o aumento das chuvas, principalmente nas bacias menos alteradas e impactadas pelas atividades antrópicas. Apesar do aumento das precipitações, as bacias com maior índice de alteração tiveram reduzidas as suas vazões na segunda metade do século XX, sobretudo em decorrência do aumento das captações para abastecimento público, como o que ocorre no rio Piracicaba, onde se encontra o Sistema Cantareira, que provém água para o abastecimento público para a região metropolitana de São Paulo.

Percebe-se, então, através dos estudos apresentados, que as atividades humanas, seja na conversão de vegetação nativa em complexos agrosilvipastoris ou na mudança de áreas de agricultura para pastagens, no período entressafras, principalmente quando não há um manejo adequado dos solos, deixando-o exposto, aumentando a probabilidade à compactação, alteram a dinâmica hídrica das bacias hidrográficas. As modificações no uso e ocupação das terras alteram importantes fases do ciclo hidrológico (o implemento de pastagens em detrimento das áreas de vegetação nativa, por exemplo, que retira a cobertura vegetal, expondo o solo à energia solar direta e à energia cinética das precipitações). No balanço hídrico, ainda levando em conta o exemplo anterior, a retirada dos fragmentos florestais diminui consideravelmente a evapotranspiração do local, o que pode aumentar as vazões de cheia, devido à diminuição das perdas de água pelos fragmentos florestais. Além disso, verifica-se a retirada de água dos cursos d'água para irrigação e abastecimento público, o que reduz drasticamente os índices de vazão dos rios.

Para avaliar o comportamento qualitativo e quantitativo das fases do ciclo hidrológico no decorrer do tempo, nos dados de vazão, precipitação, entre outros dados climáticos, avaliando se houve tendência de aumento ou redução em seus índices, considerando ou não a evolução do uso das terras em determinada área, a literatura apresenta diversas metodologias estatísticas. Nas últimas décadas, a comunidade científica tem utilizado amplamente os testes

estatísticos de regressão linear, e os testes estatísticos não-paramétricos de Mann-Kendall, Mann-Kendall Sazonal, Curvatura de Sen e o teste de homogeneidade de Pettitt, apesar de os resultados não serem conclusivos e suficientemente explicativos a ponto de finalizar o debate.

2.5. Análise de tendências de séries temporais de dados ambientais

Uma série temporal, também chamada de série histórica, é uma sequência de dados obtidos em intervalos de tempo regulares, durante determinado período específico, e esse conjunto de dados pode ser obtido mediante observações periódicas do evento de interesse (LATORRE e CARDOSO, 2001). Este evento pode ser as vazões diárias de determinado curso d'água, a precipitação diária de determinado local, a temperatura máxima ou mínima de alguma região, etc.

No início da análise de uma série temporal, deve-se modelar o fenômeno estudado, para a partir daí, descrever o comportamento da série, estimar os dados e por fim, avaliar quais os fatores que influenciaram o comportamento da série, buscando a existência de relações de causa e efeito entre duas ou mais séries temporais. (LATORRE & CARDOSO, 2001).

Para Mortatti (2004), as séries temporais de vazão dos cursos d'água, por exemplo, são reflexos das integrações dos itens componentes do ciclo hidrológico e por consequência das influências naturais e antrópicas de determinado local, tendo fundamental importância no subsídio para tomada de decisões em relação à racionalização do uso da água e preservação dos recursos hídricos.

Determinar se o valor de uma variável apresentou tendência de aumento ou diminuição (melhorou ou piorou) ao longo de uma série temporal significa que a distribuição da probabilidade dessa variável mudou ao longo do tempo, além disso, se torna interessante quantificar ou descrever as razões da mudança baseadas em variações em algum valor central de distribuição, como a média ou a mediana, por exemplo (HELSEL e HIRSCH, 2002).

No estudo de tendências em séries históricas, assume-se que uma hipótese é nula (H_0) quando não existe tendência nos dados. O resultado do teste de tendência é uma escolha entre rejeitar a hipótese nula H_0 ou não. Porém, rejeitar a hipótese nula não significa que foi provado a inexistência de tendência, pelo contrário, assim se constata que a evidência disponível não

apresenta provas suficientes para concluir a existência de tendência (HELSEL e HIRSCH, 2002). É importante lembrar também que as tendências são baseadas, principalmente, no comportamento de determinada série histórica pregressa, sendo que não se pode afirmar que o comportamento apresentado até então continuará posteriormente.

2.5.1. Regressão linear simples

A análise da regressão linear pode ser utilizada para indicar alterações no clima, e em outras tipologias de dados ambientais, por meio da significância do coeficiente angular. De acordo com Meschiatti et. al. (2012), do ponto de vista matemático, a série de dados é definida pela variável Y (representando dados de chuva, vazão, temperatura, entre outros), no tempo t (dias, meses, anos, períodos, etc.). Desta maneira, Y é uma função de t representada por $Y = f(t)$. A reta da regressão linear pode ser obtida considerando a equação:

$$Y = aX + B \quad (3)$$

Onde:

“a” é o coeficiente angular da reta;

“x” = t , logo representa a variável temporal.

Na análise da regressão linear simples, se “a” > 0 pode-se afirmar que existe uma tendência crescente. No caso de “a” < 0 , assume-se que a tendência é decrescente. Através da reta de regressão, o analista pode aferir o coeficiente de correlação (r) e o seu respectivo quadrado (r^2) que é denominado de coeficiente de determinação. Enquanto o coeficiente de determinação (r^2) é sempre positivo, variando entre 0 e +1, o coeficiente de correlação admite valores positivos e negativos. Neste caso, valores de r igual ou próximos de -1 ou 1 indicam forte relação entre as variáveis X e Y. Por sua vez, o coeficiente de determinação (r^2) mede a proporção de variação total da variável dependente Y que é explicada pela variação da variável independente X, podendo ser representada em porcentagem (Ex. se r^2 entre duas variáveis quaisquer for 0,85, pode-se dizer que em 85% das variações em Y são explicadas pela variação de X).

A utilização da regressão linear simples e dos coeficientes de correlação (r) e determinação (r^2) para estimar tendências em séries temporais de dados hidroclimáticos pode ser encontrada

nos estudos de Ferrari (2012), Back (2001), Sanches (2012), Fontolan et. al. (2012), entre outros.

Ademais, “o teste de regressão linear não fornece subsídios suficientes para identificar a tendência de uma série temporal” (PENEREIRO, 2012, p. 8), sendo necessária a utilização de metodologias mais robustas e confiáveis para identificação e análise de tendências. Os testes de Mann-Kendall, Mann-Kendall Sazonal, Curvatura de Sen e Pettitt, têm sido amplamente utilizados em estudos que buscam investigar o comportamento das séries históricas de dados hidroclimáticos e outros dados ambientais.

2.5.2. Testes não-paramétrico de Mann-Kendall, Mann-Kendall Sazonal e Curvatura de Sen

O teste não-paramétrico de Mann-Kendall, proposto inicialmente por Mann (1945), utiliza o teste de significância sobre o valor de *Kendall's tau*, onde a variável X é o tempo (t). Trindade (2013) cita que determinada função (f) pode ser definida como monotônica caso possa ser classificada como crescente ($x < y; f(x) \leq f(y)$), estritamente crescente ($x < y; f(x) < f(y)$), decrescente ($x > y; f(x) \geq f(y)$) ou estritamente decrescente ($x > y; f(x) > f(y)$).

O teste de Mann-Kendall é análogo à análise de regressão e é mais indicado como um teste para verificar se os valores da série temporal tendem a aumentar ou a diminuir com o tempo (mudança monotônica) (HELSEL e HIRSCH, 2002). O teste de Mann-Kendall, quando comparado a outros testes paramétricos apresenta maior robustez quanto a desvios de normalidade e não-estacionaridade dos dados da série histórica, justificando o amplo uso em estudos de tendência (BLAIN, 2011).

Para a execução do teste de Mann-Kendall, nenhuma suposição quanto à normalidade dos dados é requerida, porém, não deve existir correlação serial entre dados para que o resultado de *p-value* esteja correto. Este teste se caracteriza por ter o objetivo de determinar se o valor central na distribuição dos dados da série temporal muda ao longo do tempo, sendo aplicável em diversos campos do conhecimento (HELSEL e HIRSCH, 2002).

Ferrari (2012) descreve que, para um conjunto de dados $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, desde que $n > 4$, o teste de Mann-Kendall S utiliza as seguintes fórmulas:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad (4)$$

A função *sign* é definida por:

$$\text{sign}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{se } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{se } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{se } x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Por sua vez, a variância de S, representada por [VAR(S)], é definida pela fórmula:

$$\text{VAR}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (6)$$

Caso haja repetição de dados na série histórica, [VAR(S)] fica sendo calculada pela seguinte fórmula:

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p (t_p - 1)(2t_p + 5)] \quad (7)$$

Sendo que g é o número de grupo com dados repetidos, t_p representa o número de dados no p -ésimo grupo. Portanto, S e $\text{VAR}(S)$ são utilizados para o cálculo da estatística Z:

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{[\text{VAR}(S)]^{\frac{1}{2}}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{[\text{VAR}(S)]^{\frac{1}{2}}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

A análise de tendência do teste de Mann-Kendall é realizada observando-se o valor de Z . Caso $Z > 0$, a tendência é positiva. Por sua vez, se $Z < 0$, o teste de Mann-Kendall afirma que a tendência é negativa. Por fim, caso o valor de $Z = 0$, não há existência de tendência.

O teste de Mann-Kendall Sazonal – MKS, por sua vez, proposto por Hirsch et. al. (1982), mede o teste de Mann-Kendall considerando sazonalidades nos dados. O teste agrupa os dados e combina os resultados posteriormente, de modo que os dados dos meses de janeiro, por exemplo, são comparados apenas com os meses de janeiro, assim por diante.

Um método não-paramétrico para se calcular a magnitude das tendências é a curvatura de Sen – *Sen's slope* (SEN, 1968). Para o cálculo de *Sen's slope*, computam-se todas as curvaturas de todos os pares dos valores apresentados em determinada série temporal. É um método insensível a *outliers* e dados ausentes, sendo mais rigoroso do que a curvatura da regressão linear, provendo uma medida mais real das tendências em séries temporais (SILVA et. al., 2015). A curvatura de Sen é obtida pelo cálculo dos pares de valores da série $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ com a aplicação da seguinte fórmula:

$$S_e = \frac{X_j - X_i}{j - i} \quad (9)$$

Na fórmula acima, S_e representa o valor da curvatura de Sen, onde o acréscimo ou decréscimo em função do tempo é cedido pela função $f(t) = S_e t + B$, sendo B uma constante (FERRARI, 2012).

2.5.3. Teste de homogeneidade de Pettitt

Como complemento para o teste de tendências de Mann-Kendall e *Sen's slope*, encontra-se na literatura o teste de ruptura de Pettitt (PETTITT, 1979). O teste de Pettitt, é considerado também um teste não-paramétrico, que utiliza uma versão do teste de Mann-Whitney, onde se verifica se duas amostras Y_1, \dots, Y_T e Y_{t+1}, \dots, Y_T pertencem à mesma população (GROOPPO et. al., 2005). Esta estatística é capaz de localizar o ponto de mudança brusca nas médias da série histórica (*changing point*). As fórmulas do teste de Pettitt podem ser encontradas nos trabalhos de Back (2001), Groppo et. al. (2005), Mortatti (2004), entre outros.

Com a finalidade de corroborar a metodologia para identificação e análise de tendências em séries temporais de dados hidroclimáticos, utilizando os testes de regressão linear, Mann-Kendall, Curvatura de Sen, e Pettitt, a seguir serão mencionados alguns estudos encontrados na literatura.

Back (2001), empregando regressão linear e os testes de Mann-Kendall e Pettitt para analisar estatisticamente os dados de temperatura e precipitação pluvial no município de Urussanga, no estado do Rio Grande do Sul, verificando a existência de tendências, identificou tendências significativas de aumento da temperatura média anual e na temperatura média do mês de janeiro, identificando uma mudança na série (*changing point*), no ano de 1965. Ainda foi identificada tendência significativa de aumento da precipitação total anual e da precipitação no quarto semestre das séries. O autor conclui que a análise da regressão linear, o teste de Pettitt e o teste de Mann-Kendall apresentaram concordância entre seus resultados, podendo ser utilizados de maneira complementar e conjunta na busca por tendências em séries temporais. (BACK, 2001)

Marengo e Alves (2005) analisaram as vazões hidrológicas na bacia do rio Paraíba do Sul utilizando extensas séries históricas (período aproximado: década de 1930 até os anos 2000), com o objetivo de detectar e elucidar as tendências observadas nos índices de vazão e/ou cotas, correlacionando-as às causas naturais ou atividades antrópicas. Para tanto, aplicaram o teste estatístico de Mann-Kendall em dados de vazão, cotas e precipitação e concluíram que as vazões observadas em postos fluviométricos no estado de São Paulo e Rio de Janeiro apresentaram tendência de decréscimo nos últimos 50 anos, e que tal fato não aparenta estar relacionada com o comportamento pluviométrico no período. Além disso, sugerem que as tendências negativas de vazão podem ser consequência da ação humana no tocante da gestão dos recursos hídricos, geração de energia, esgotos lançados no rio, práticas de irrigação e crescimento populacional.

Moraes et. al. (1997) estudaram uma série histórica de 65 anos de dados de vazão dos principais cursos d'água componentes da bacia hidrográfica do rio Piracicaba. Motivados pelo amplo crescimento populacional e industrial (maior que a média brasileira à época da pesquisa) no âmbito da bacia citada e pelo receio da possível situação de escassez hídrica na região, utilizaram os métodos estatísticos de Mann-Kendall e Pettitt para a análise do comportamento hidrológico da bacia citada. Os resultados obtidos por eles apontaram uma

redução das vazões, com significância estatística, a partir de 1975 e 1986, nos rios Atibaia e Jaguari, respectivamente. Segundo os autores, a redução das vazões nos períodos detectados coincide com o cronograma de construção e operação do Sistema Cantareira, na qual a água foi represada e direcionada para o abastecimento público da cidade de São Paulo. Nota-se que após quase duas décadas após a pesquisa de Moraes et. al. (1997), nos anos de 2014 e 2015 o Sistema Cantareira entrou em colapso total, sobretudo pelo aumento da demanda de água e diminuição da oferta, na qual a diminuição dos índices de chuvas não proporcionou o enchimento normal do sistema, escancarando falhas na gestão hídrica paulista.

Ainda no estado de São Paulo, Mortatti et. al. (2004) realizaram uma análise exploratória dos dados de vazão dos rios Tietê e Piracicaba utilizando os testes de Mann-Kendall e Pettitt e concluíram que houveram algumas mudanças no comportamento hidrológico dos rios citados a partir da década de 1980 e que essas mudanças estiveram correlacionadas tanto ao regime hídrico das bacias quanto às ações antropogênicas. O teste de Pettitt, que é capaz de apontar um ponto de mudança brusca em séries históricas, apontou no rio Tietê uma quebra de série aproximadamente em 1982, o que segundo os autores está relacionado aos grandes eventos de precipitação que ocorreram no mesmo período, além do inicio do funcionamento do Sistema Cantareira, o que aumentou o volume de água nas imediações do posto fluviométrico analisado. Para o rio Piracicaba, assim como Moraes et. al. (1997) concluíram, Mortatti et. al. (2004), utilizando o teste de Mann-Kendall, detectaram tendência de redução nos índices de vazão.

Com a finalidade de detectar mudanças na quantidade e qualidade das águas dos rios em decorrência da intensificação da atividade canavieira no estado de São Paulo, Guarenghi (2014) analisou dados de vazão, precipitação e parâmetros de qualidade de água dos rios localizados nos municípios de Jaú, Pontal e Ribeirão Preto. Utilizando os testes estatísticos de Mann-Kendall, Curvatura de Sen e Pettitt, a autora não observou alterações nos índices de vazão que pudessem ser relacionadas à expansão da atividade canavieira. Porém, concluiu que a presença de tendência nas vazões pode estar ligada à variação da precipitação. De maneira geral, com relação à qualidade das águas, a autora encontrou tendência de aumento nos índices de nitratos, nitritos e nitrogênio amoniacal, sugerindo que o aumento desses parâmetros está relacionado com o aumento das áreas de plantação de cana-de-açúcar e do crescimento populacional nos municípios citados.

Vilanova (2014), com a finalidade de avaliar a existência de tendências monotônicas em séries históricas de chuva e vazão na região do Alto Rio Mogi-Guaçu, no sul do estado de Minas Gerais, utilizou o teste de Mann-Kendall a séries de vazão média anual de duas estações fluviométricas na bacia citada e o teste de Mann-Kendall regional a séries de precipitação de duas estações pluviométricas no período de 1973 a 2006. Com relação aos dados de vazão, o autor obteve um *kendall's tau* de -0,0890 m³/s e -01392 m³/s ao ano nas duas estações fluviométricas analisadas, sugerindo que as vazões apresentaram tendências de diminuição ao longo da série histórica. O autor demonstra que a diminuição das vazões no Alto Rio Mogi-Guaçu acompanha a redução nos índices de precipitação analisados, já que estes apresentaram uma redução média de 9.8 mm/ano. As alterações no uso das terras da bacia analisada são colocadas como segunda componente associada às tendências de diminuição das vazões do rio estudado.

O mesmo autor, Vilanova (2014), analisou as tendências hidrológicas anuais e sazonais de duas estações pluviométricas e uma fluviométrica na bacia do rio Paraíbuna, localizada no interior do Parque Estadual da Serra do Mar, no estado de São Paulo, submetendo os dados ao teste de Mann-Kendall. O autor não detectou tendências significativas nos dados de vazão e nos dados da estação pluviométrica 2345067. Em contrapartida, na estação pluviométrica 2344009, o autor percebeu a existência de tendências significativas de decréscimo, indicando diminuição dos índices de chuva. Vilanova (2014), então, conclui que devido à proximidade geográfica entre as estações pluviométricas e às semelhanças topográficas e fisiográficas das áreas nas quais se localizam é pouco provável que as tendências de redução apresentadas pela estação 2344009 sejam decorrentes de alterações climáticas regionais. Em contrapartida, o forte processo de alteração no uso e ocupação das terras ao longo das últimas décadas na região desta estação pode ter ocasionado mudanças no balanço hídrico local, sendo responsáveis pela redução dos índices pluviométricos. Por outro lado, os resultados obtidos sugerem que a estabilização das vazões na estação fluviométrica 58060000 e das chuvas da estação 2345067 são resultados da preservação do trecho florestal na região dessas estações.

Objetivando analisar as tendências em séries históricas de vazão do alto curso da bacia hidrográfica do rio Grande, em Minas Gerais (à montante do reservatório da Hidrelétrica de Furnas), Santana et. al. (2011) submeteram dados de 47 estações fluviométricas ao teste de Mann-Kendall e concluíram que em 12,7% dos postos de leitura de vazão apresentaram tendências nas vazões médias anuais, sendo que em todos esses casos a tendência foi de

aumento. Investigando as vazões médias mensais, os autores perceberam que em 42,5% dos postos fluviométricos as vazões apresentaram tendência de aumento. Por sua vez, 15% dos postos analisados indicaram redução em seus índices de vazão média mensal, sendo que estas estações se localizam majoritariamente na bacia do rio das Mortes.

À diante, os autores afirmam que na maioria dos casos, os meses que apresentaram tendência de aumento foram os meses do período de estiagem, sobretudo os meses de agosto e setembro, e que provavelmente isso se deve às mudanças no comportamento pluviométrico durante o período estudado, requerendo estudos mais detalhados. Santana et. al. (2011) ainda afirmam que os postos fluviométricos que detectaram algum tipo de tendência, seja ela de aumento ou redução, se localizam em regiões de cabeceira e nos trechos médios dos rios estudados, estando afastados da área do reservatório da hidrelétrica de Furnas.

Meschiatti et. al. (2012) objetivaram identificar a existência de tendências em séries históricas anuais de precipitação pluviométrica, temperatura média e vazão dos rios em doze localidades distribuídas pelo estado de São Paulo. Para tanto utilizaram teste de regressão linear e os testes estatísticos não-paramétricos de Mann-Kendall e Pettitt. Assim, concluíram que para o parâmetro temperatura média foram registradas cinco ocorrências de tendências de aumento. Em cinco cursos d’água foi detectada tendência de aumento das vazões e em apenas um rio apresentou tendência de redução. De todas as estações pluviométricas analisadas, apenas uma apresentou aumento nos índices de chuva.

Em sua tese de doutorado, Pereira (2012) procurou analisar o comportamento de dados de chuva, vazão e evapotranspiração em consequência das mudanças no uso e ocupação das terras nas bacias hidrográficas dos rios Atibainha e Cachoeira, no estado de São Paulo. Para tanto mapeou essas bacias em caráter multitemporal utilizando imagens do satélite Landsat 5, que abrangearam o intervalo de 1995 a 2008. A autora detectou que nas bacias estudadas houve uma redução das matas nativas, um acréscimo das áreas de silvicultura e mudanças suaves nas áreas de pastagens e capoeirão. Os índices de mancha urbana, estradas e corpos d’água não se alteraram de maneira considerável, em contrapartida.

Explorando os dados de hidrológicos, a autora supracitada utilizou testes de regressão linear, Mann-Kendall e Pettitt para identificar tendências nas saídas e entradas do sistema hídrico. Para os dados de vazão, considerou as vazões mínimas nos intervalos de 30, 45, 60 e 75 dias

de estiagem, justificando que a análise das vazões de estiagem pode apresentar resultados mais significativos em detrimento das vazões de cheia. Tal fato se dá pela variabilidade espacial das precipitações, o que torna difícil a identificação de possíveis efeitos no aumento do escoamento superficial. Para os dados de precipitação foram considerados dados diários de chuvas em um raio de 100 km a partir das bacias hidrográficas estudadas. A autora, concluiu que as vazões apresentaram tendências de redução em todos os períodos analisados, assim como os índices de precipitação: as chuvas diminuíram principalmente nos períodos de recarga (período chuvoso). Porém, tais resultados não foram suficientes para traçar uma relação entre as mudanças nos usos das terras com o comportamento hidrológico. O comportamento do regime de chuvas parece ter incidido maiores consequências nos índices de vazão nas bacias hidrográficas estudadas.

Tozato et.al. (2013) analisaram séries históricas de dados de chuva, temperatura e cotas fluviométricas no intervalo compreendido entre os anos de 1971 a 2011, no âmbito da sub-bacia do Alto Paraguai, no estado do Mato Grosso. Os autores utilizaram os testes de regressão linear e Mann-Kendall para identificação de tendências e o teste de Pettitt para verificar a existência de ruptura nas médias da série histórica. No trabalho foram consideradas séries históricas de 38 estações pluviométricas, 24 estações fluviométricas e duas estações climáticas, para os dados de temperatura. Como resultado, os autores concluíram que quanto mais ao sul e mais à oeste da área de estudo, mais intensa foi a redução dos índices anuais de precipitação. Os dados das duas estações na qual foram coletados os dados de temperatura máxima e mínima apresentaram tendência de aumento.

2.6. Escala de análise

De acordo com Becker (1992) apud Tucci (2003), a variabilidade espacial dos efeitos hidrológicos é um dos principais desafios do conhecimento hidrológico, sendo necessário compreender as escalas caracterizadas na literatura e descrita na tabela a seguir.

Tabela 1. Escalas dos processos hidrológicos.

Escala	Dimensão (km ²)
Macro	> 10 ⁴
Transição α	10 ³ e 10 ⁴

Meso	$10 - 10^3$
Transição	$10^{-4} - 10$
Micro	$< 10^{-4}$

Fonte: Becker (1992) apud Tucci (2003).

Geralmente, da microescala e sua transição são onde ocorrem os escoamentos de vertente e nesta escala praticamente não existem dados hidrológicos no Brasil e os estudos ainda são incipientes, sendo que os processos geralmente são caracterizados e percebidos através da percepção da população local. (TUCCI, 2003). Já a mesoescala é representada pelas bacias hidrográficas onde se iniciam os usos dos recursos hídricos destinados para o abastecimento público e irrigação. Nesta escala ainda se encontra pouco número de informações hidrológicas e quando há a existência dos mesmos não são confiáveis ou não há uma medição adequada da ocorrência dos eventos. Por sua vez, em território brasileiro, a grande maioria das informações hidrológicas se encontram na transição entre meso-macro escala e na própria macroescala, onde se localizam grande parte dos empreendimentos hidrelétricos (TUCCI, 2003).

O comportamento hidrológico é dependente das mudanças na superfície terrestre, logo são sensíveis às suas modificações. Na transição entre micro e mesoescala pode-se perceber as seguintes dinâmicas: a) aumento do escoamento com o desmatamento, sendo dependente da ocupação das terras após o desmate; b) aumento do escoamento com a impermeabilização dos solos; c) variação dos efeitos com a escala dos processos como consequência do tipo de plantio para culturas anuais, sendo que neste caso, a alteração das condições do escoamento na bacia hidrográfica pode resultar em diferentes consequências, conforme descrito por Tucci (2003).

De acordo com Pereira (2012), nas meso e macroescalas, a paisagem pode apresentar heterogeneidades que dificultam a generalização, e as diferenças nos resultados estão associadas às proporções de conversão do uso das terras, assim como está relacionada às novas formas de uso e o manejo das terras, à distribuição das precipitações no tempo/espacô, além das diferentes condições de capacidade de infiltração de água nos perfis de solo.

Na escala regional, em bacias hidrográficas que apresentam áreas acima de dezenas de km^2 , os impactos do uso das terras se tornam mais complicados de serem identificados pelo fato de

o tempo de resposta dos processos de causa e efeito é mais longo. Desta maneira, os processos vão se alterando no tempo e espaço e gerando uma sobreposição de efeitos (PEREIRA, 2012).

Guo et. al. (2008), estudaram o impacto do clima e do uso das terras nas vazões anuais e sazonais na bacia hidrográfica do rio Xinjiang, afluente do Lago Poyang, na China. O rio Xinjiang possui uma área total de **15.535 km²**. O resultado mais considerável indica que as alterações climáticas geram maiores impactos nas vazões anuais, enquanto o uso das terras gera impactos moderados nas vazões anuais e impactos mais significativos nas vazões sazonais e altera o hidrograma anual da bacia. O incremento de áreas florestadas em detrimento das áreas de agricultura reduz as vazões da estação úmida e aumenta as vazões nos períodos secos, por exemplo.

Estudando os impactos das alterações no uso e ocupações das terras sobre a dinâmica hídrica na bacia do rio Paraná (**>800.000 km²**), Bayer (2014) simulou vazões e detectou que o desmatamento possui forte influência sobre as variáveis hidrológicas como interceptação, evaporação e vazão. O autor observou que a vegetação pode ser associada a 39% dos aumentos percebidos nas vazões médias de longo termo. As precipitações, por sua vez, foram responsáveis por 61% dos impactos nas vazões médias.

Hurkmans et. al. (2009), realizaram simulações hidrológicas na bacia do rio Reno, o maior rio do oeste europeu, cujas nascentes se localizam nos alpes suíços, atravessando a fronteira da Alemanha com a França, alcançando seu exutório em território holandês. Por questões metodológicas, os autores utilizaram como área de estudo apenas o médio e alto curso da bacia do rio Reno, alcançando uma área total de **185.000 km²**, considerando seis sub-bacias do referido rio. A dinâmica hidrológica do rio Reno é regulada pelas precipitações e pelo derretimento das coberturas glaciais de suas nascentes nos períodos mais quentes do ano, porém têm havido uma mudança nesse padrão, sendo que as vazões estão tendendo a serem regularizadas primordialmente pela precipitação. Este fato, somado ao crescimento da urbanização tem elevado os picos de vazão nos períodos de cheia (HURKAMANS, ET. AL. 2009). Em seu estudo, esses autores detectaram nas simulações hidrológicas, que todos os cenários de uso das terras projetados causaram uma elevação das vazões médias e máximas, porém a magnitude deste aumento variou de acordo com a escala de análise. Na bacia do rio Lahn, afluente do rio Reno, cuja área de drenagem é de **7.000 km²**, o aumento nas vazões

atingiu 30%. Por sua vez, na parte a montante do rio Reno, com área de **60.000 km²**, o aumento detectado foi de 2%.

Pereira e Filho (2009) objetivaram identificar possíveis alterações no regime hidrológico da bacia do rio Cachoeira (**307 km²**), localizada em região montanhosa no estado de São Paulo. Para tanto consideraram a análise do uso das terras em escala multitemporal, o regime de chuvas dos anos hidrológicos e vazões de 30, 45, 60 e 75 dias de estiagem em um período de 20 anos, compreendendo o intervalo entre 1986 e 2005. Os resultados obtidos apontam que a área de estudos sofreu alterações no uso das terras entre o período citado e que as maiores velocidades de desmatamento ocorreram posteriormente ao ano de 1999. Com relação às precipitações, não foram detectadas alterações significativas, porém as vazões de 75 dias de estiagem apresentaram uma queda de 70%. É justamente a partir do ano de 1999 (ano em que a velocidade dos desmatamentos aumentou), que se registraram os menores valores das vazões de 75 dias de estiagem. Segundo os autores, a relação entre a tendência de queda das vazões durante os períodos de seca e as velocidades de desmatamento na área pode atuar como um indicador de que a mudança no uso das terras de floresta secundária para pastagem e silvicultura é a principal causa das alterações hidrológicas na bacia do rio Cachoeira (PEREIRA & FILHO, 2009).

Percebe-se, assim, haver um consenso de que o uso das terras, solos, relevos, condições climáticas são bastante heterogêneas e que são distribuídas de maneiras distintas no tempo e espaço geográfico (PEREIRA e FILHO, 2009). Com relação à escala de análise, na literatura levantada, percebe-se o esforço dos cientistas e pesquisadores para elucidar quantitativamente e qualitativamente como o impacto das mudanças no uso das terras altera as funções hidrológicas de determinado local.

2.7. Estudos acerca do rio Uberaba

Na bacia do rio Uberaba, especificamente em seu alto curso e região de suas nascentes, pesquisas que analisam a relação uso das terras/vazão/precipitação/balanço hídrico são inexistentes.

Em contrapartida, pode-se encontrar trabalhos que avaliam a degradação ambiental do rio Uberaba como um todo (CANDIDO, 2003), a disponibilidade de água para o abastecimento

público do município de Uberaba (SILVA et. al., 2011), a dinâmica da precipitação máxima diária anual e a vazão mínima anual do rio Uberaba, sob uma ótica estatística (THEBALDI, 2012).

Os estudos de diagnóstico do alto curso do rio Uberaba e o plano de manejo da APA Rio Uberaba, requisitos para a implantação da referida APA, realizados por SEMEA (2004) e SEMEA (2005), respectivamente, são também importantes fontes bibliográficas para a análise e compreensão do meio físico, biótico e socioeconômico.

Abdala (2005), por exemplo, realizou o zoneamento do alto curso do rio Uberaba, sendo um estudo de extrema importância para a compreensão dos processos ambientais naquela área. Abdala (2012) realizou um diagnóstico hídrico da bacia do rio Uberaba, analisando o uso do solo, parâmetros físico-químico de qualidade das águas, etc., detectando áreas de conflito do uso da água no próprio leito do rio e em suas áreas de entorno.

Barbosa (2003) analisou as condições limnológicas da bacia do rio Uberaba, considerando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores das modificações ambientais no âmbito da bacia citada. Os resultados obtidos apontam que o rio Uberaba possui três zonas com impactos preponderantes distintos: no alto curso do rio Uberaba há a predominância de atividades agrícolas, que promovem impactos pela entrada de sedimentos e oferecem riscos devido ao uso de agrotóxicos e fertilizantes. À jusante da malha urbana do município de Uberaba, foi detectado grande impacto devido ao lançamento de efluentes, acentuando a degradação do rio Uberaba. Mais próximo às cidades de Veríssimo, Conceição das Alagoas e Planura, detectou-se risco crescente de degradação da qualidade da água devido o lançamento de efluentes domésticos na calha do rio e aumento do desmatamento nas margens do rio Uberaba e afluentes.

Valle Júnior et. al. (2013) analisaram parâmetros físico-químicos de pH, condutividade elétrica, potencial de oxirredução (ORP), oxigênio dissolvido (OD), turbidez, sólidos totais, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes fecais, coliformes totais, entre outros parâmetros, em 5 (cinco) pontos da bacia do rio Uberaba. Os resultados obtidos pelos autores apontam que os índices de coliformes termotolerantes no período chuvoso não atenderam os valores especificados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) para a denominada classe 3 (4.000 UFC/100 ml), pois apresentou valor médio de 39.068 UFC/100

ml. Sendo assim, para esse parâmetro, as águas do rio Uberaba adentram na classificação “imprópria para contato primário e para o consumo humano”, se tornando um grande risco para a saúde da população nos períodos de chuva (VALLE JÚNIOR et. al., 2013).

Os índices de coliformes totais, também ficaram acima do estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Enquanto a legislação estabelece um limite de 20.000 UFC/100 ml para a equivalência à classe 3, os autores detectaram um índice de 81.269 UFC/100 ml de coliformes totais no período chuvoso. Nota-se, então, que a qualidade das águas do rio Uberaba, sobretudo nos períodos de chuva, se caracteriza como um grande risco à saúde humana e à preservação da biota aquática (VALLE JÚNIOR et. al., 2013).

CAPÍTULO 3: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

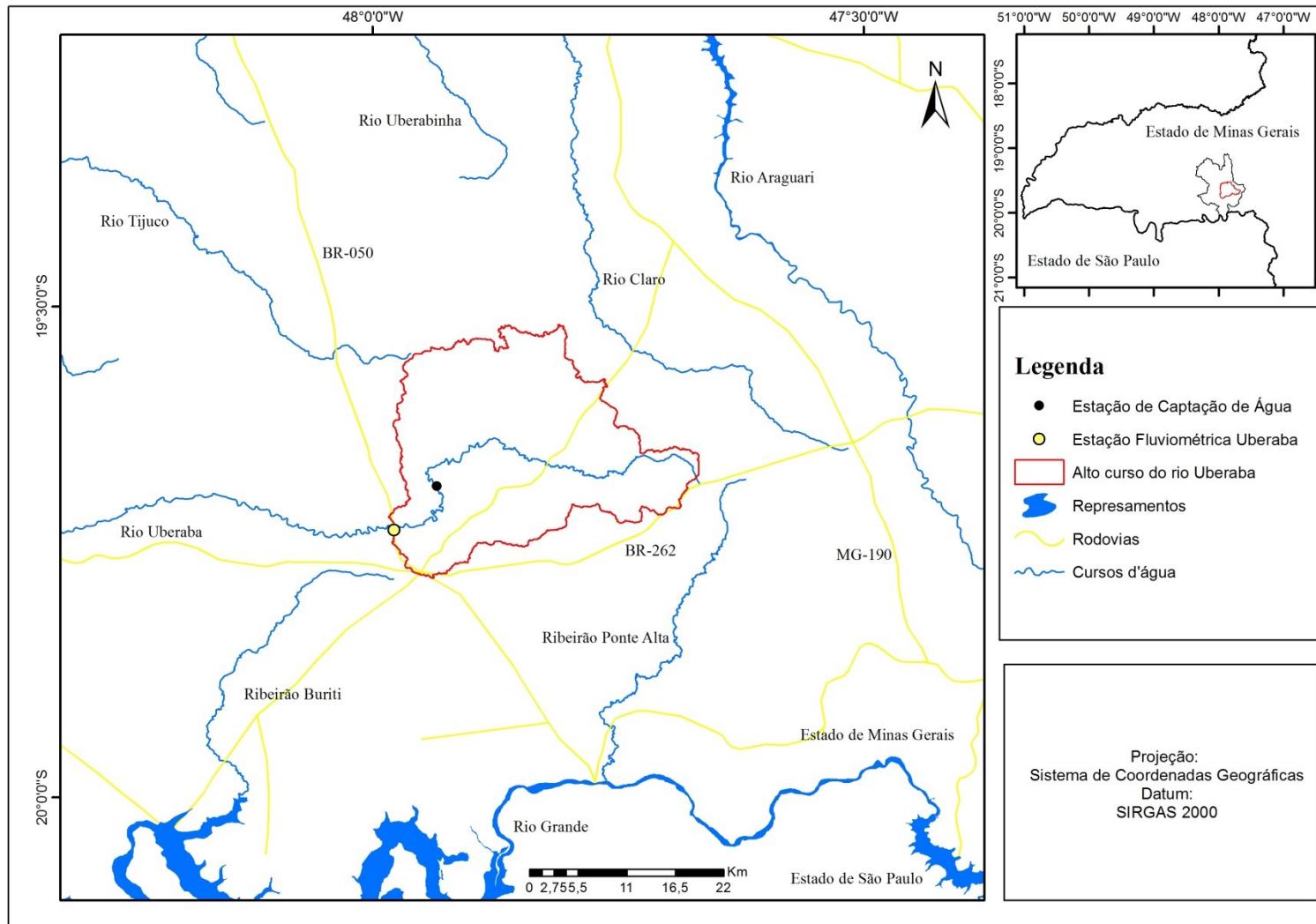
Nesta seção será apresentada a localização do alto curso do rio Uberaba, bem como a leitura técnica do cenário ambiental da área de estudo, tal como os aspectos climatológicos, geológicos, geomorfológicos, pedológicos e alguns dados socioeconômicos.

3.1. Localização do alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba

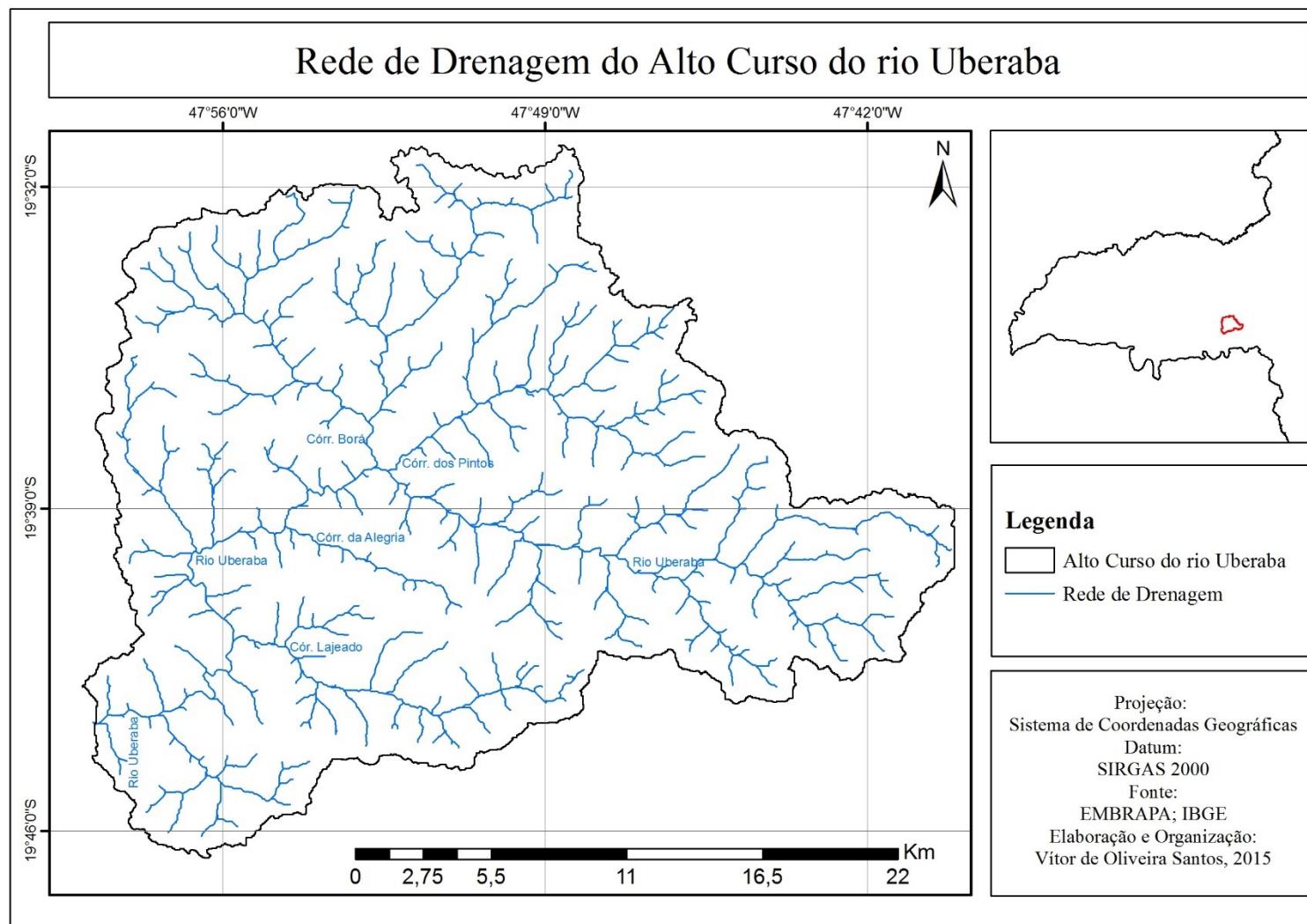
A área do alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba localiza-se na porção central do município de Uberaba, abrangendo uma área de 563,94 km² (56.394,4 hectares). O limite superior se encontra no divisor de águas do próprio rio Uberaba, próximo à BR-262. À jusante, o exutório escolhido para a área de estudo foi a localização da Estação Fluviométrica Uberaba – Agência Nacional de Águas (ANA), código 61794000, às margens da BR-050, sob as coordenadas geográficas 47°58'47,06"S e 19°43'40,39"O (Figura 4).

A escolha do limite da área desse estudo extrapola em alguns quilômetros quadrados a área oficial legalmente estabelecida para a Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba. Esta unidade de conservação possui seus limites, à montante, no mesmo local da área estabelecida para este estudo, porém, o exutório da APA do rio Uberaba se localiza no local de captação de água para o abastecimento público de Uberaba. A área da APA do rio Uberaba possui, desta maneira, 528 km². Esta opção foi feita com finalidade metodológica, na qual seria mais viável escolher um ponto de medição de vazão onde já seriam refletidos os impactos da captação do abastecimento público de Uberaba.

Mapa 1. Mapa de localização da área do alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba.



Mapa 2. Rede de drenagem do Alto Curso do rio Uberaba



3.2. Caracterização ambiental da área de estudo

Geologia do alto curso do rio Uberaba

Na região do alto curso do rio Uberaba pode-se encontrar a presença de três unidades geológicas provenientes da bacia sedimentar do Paraná: as formações Serra Geral; Uberaba e Marília.

Segundo Abdala (2005), a Formação Serra Geral aflora em uma faixa estreita ao longo do rio Uberaba, e se inicia a poucos quilômetros a montante de sua confluência com o córrego dos Pintos (afluente do rio Uberaba) e se estende à jusante. À medida que o vale do rio Uberaba se estende no sentido à jusante, a faixa de presença da formação Serra Geral se torna mais ampla, porém não avança além do limite de 1000 metros em cada uma de suas vertentes na área de estudo. Segundo Hassui (1969) apud Abdala (2005), os basaltos presentes na área de estudo, do mesmo modo que ocorre em todo Triângulo Mineiro, são parecidos aos que se encontram na bacia do Paraná. Ainda de acordo com Abdala (2005), os basaltos presentes no alto curso do rio Uberaba são rochas micro cristalinas constituídas de clinipiroxênio, ripas de plagioclásio e principalmente magnetita e a cor predominante das rochas da formação Serra Geral é o cinza esverdeado, variando para tons amarelados, avermelhados e acastanhados, sendo que os tons de verde é decorrência da presença de esmectita. Já os tons avermelhados ocorrem pelo estágio avançado de intemperismo, consequência da alteração da magnetita (ABDALA, 2005).

Segundo Hasui (1967) apud Abdala (2005) a formação Uberaba é caracterizada pela presença de arenitos médios a muito finos. Pode-se encontrar também arenitos grosseiros, intercalados com siltitos, agilitos, conglomerados e arenitos conglomeráticos (HASUI, 1967 apud ABDALA, 2005).

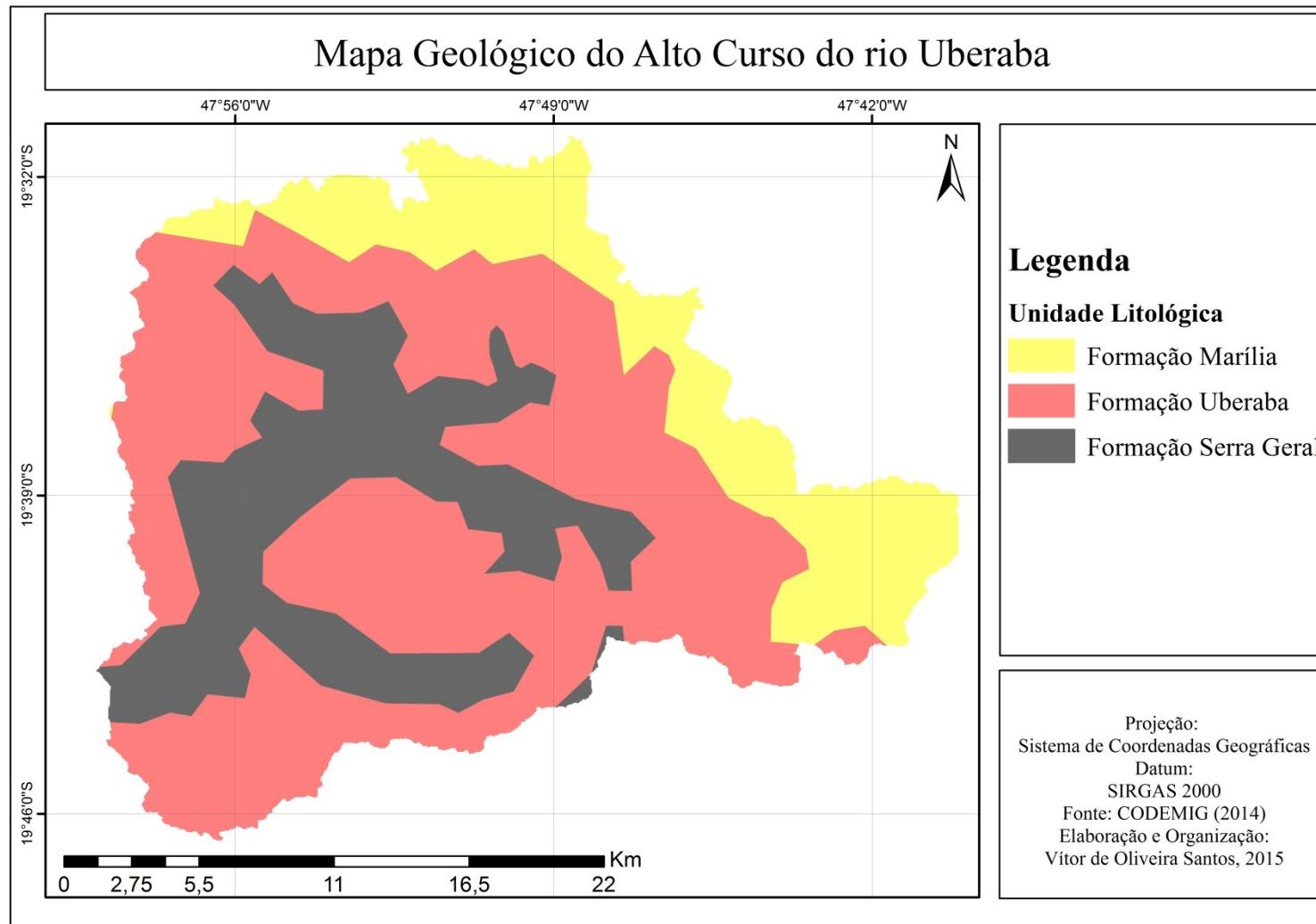
De acordo com Abdala (2005) no alto curso do rio Uberaba, as rochas componentes da Formação Uberaba podem ser encontradas entre os níveis altimétricos de 770 e 840 metros, possuindo uma espessura de aproximadamente 60 metros. A autora ainda afirma que os afluentes do rio Uberaba situados nesse intervalo altimétrico possuem suas calhas assentadas sobre os arenitos dessa formação e que em determinadas áreas, é possível visualizar os seixos decorrentes do basalto e quartzito que perfazem 40% do volume do conglomerado. O

intemperismo que atua na Formação Uberaba é tão intenso que se torna escasso os afloramentos de seus elementos (ABDALA, 2005)

A Formação Marília ocorre em amplas áreas do Triângulo Mineiro, ocupando as áreas topograficamente mais elevadas dos interflúvios, com maior presença nos municípios de Uberaba e Prata. Essa formação se subdivide em dois membros: Membro Ponte Alta, que abrange os municípios de Sacramento, Uberaba, Ponte Alta, Frutal e Uberlândia, onde o calcário (tipo calcrete) e conglomerados com cimentação carbonática são as principais litologias; e o Membro Serra da Galga, que é constituído por arenitos imaturos e conglomerados superpostos aos níveis carbonáticos do Membro Ponte Alta. Em seus conglomerados existe o predomínio de seixos de quartzitos, quartzos calcedônia, rochas ígneas básicas, calcárias e argilitos (BARCELOS, 1984 apud ABDALA, 2005).

No alto curso do rio Uberaba, a Formação Marília pode ser encontrada nas porções correspondentes às bordas da chapada, localizadas entre as cotas altimétricas de 840 e 950 metros. Acima dos 950 metros, encontra-se sedimentos inconsolidados da cobertura cenozóica. O mapa geológico da bacia do rio Uberaba se encontra a seguir.

Mapa 3. Mapa geológico do Alto Curso da bacia do rio Uberaba.



Solos do alto curso do rio Uberaba

De acordo com o mapa de solos do estado de Minas Gerais (escala 1:500.000), material cartográfico produzido em 2011 pela Universidade Federal de Viçosa, CETEC, Universidade Federal de Lavras e Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais – FEAM, no alto curso do rio Uberaba há a predominância das seguintes tipologias de solo: Gleissolos, Latossolos e Argissolos.

Os Gleissolos compreendem solos hidromórficos, constituídos por material mineral, que apresentam horizonte glei dentro de 150 cm da superfície do solo, logo abaixo dos horizontes A ou E. Os gleissolos estão permanentemente ou periodicamente saturados por água, com exceção de quando são drenados artificialmente. A água presente permanece estagnada ou a saturação é por fluxo lateral no solo e sob qualquer circunstância a água presente nos gleissolos podem se elevar por ascensão capilar, atingindo a superfície (EMBRAPA, 2006).

Por sua vez, os Latossolos compreendem solos constituídos por material mineral com horizonte B latossólico imediatamente sob qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, com exceção dos hísticos (EMBRAPA, 2006). Os Latossolos são solos em avançado estágio de intemperização, bastante evoluídos, como consequência de fortes transformações no material constitutivo. Essa tipologia de solos varia de fortemente a bem drenado, embora exista Latossolos cujas cores pálidas, decorrentes de drenagem moderada ou imperfeitamente drenada. Os Latossolos, ainda, são solos profundos, na maioria das vezes maior que um metro. São característicos das regiões equatoriais e tropicais, ocorrendo também em zonas subtropicais, ocorrendo normalmente em relevo plano e suave ondulado, porém pode-se encontrar Latossolos em áreas mais acidentadas (EMBRAPA, 2006).

Os Argissolos são solos constituídos por material mineral, que possui como forte característica a presença do horizonte B textural de argila de baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico. O dito horizonte B textural pode ser encontrado logo abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, com exceção do hístico, porém não apresentam os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes dos Luvissolos, Planossolos, etc. Os Argissolos apresenta grande incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B, apresentando ou não decréscimo de argila nos horizontes subjacentes. Além disso, possuem profundidade variável, sendo forte ou imperfeitamente

drenados e de cores avermelhadas e amareladas, de textura arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt.

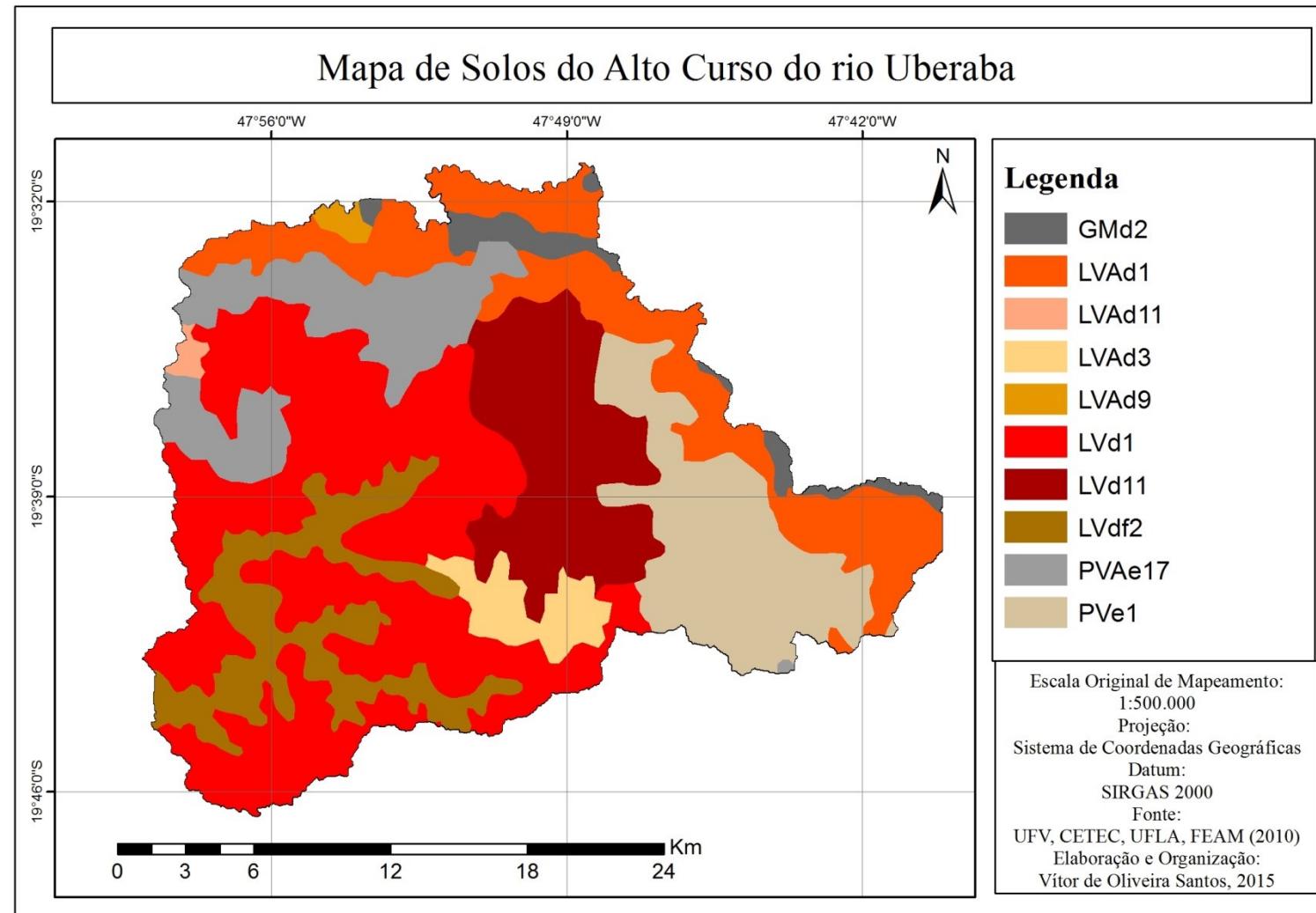
O quadro 2 apresenta todas as tipologias de solo encontradas no alto curso da bacia do rio Uberaba.

Quadro 2. Tipos de solos encontrados no alto curso da bacia do rio Uberaba.

Tipologia	Sigla	Nomenclatura	Textura	Paisagem	Tipo de relevo
Gleissolos	GMd2	Gleissolo melânico distrófico típico a proeminente + organossolos háplico sáprico típicos e terricos + latossolo vermelho-amarelo distrófico típico A	Argilosa	Campestre	Relevo plano e suave ondulado
Latossolos	LVAd1	Latossolo vermelho-amarelo distrófico típico A moderado	Argilosa	Cerrado	Relevo plano e suave ondulado
	LVAd11	a) Latossolo vermelho-amarelo distrófico típico A moderado + b) Cambissolo háplico distrófico típico A moderado	a) média/argilosa b) siltosa/argilosa ou cascalhento/não cascalhento ou pedregoso/não pedregoso	Cerrado	Suave ondulado e ondulado
	LVAd3	Latossolo vermelho-amarelo distrófico típico A moderado	Média	Caatinga hipoxerófila	Plano e suave ondulado
	LVAd9	a) Latossolo vermelho-amarelo distrófico b) Latossolo vermelho-amarelo distrófico plínticos argissólicos A moderado	a) Argilosa b) Argilosa	Campestre e Cerrado (para ambos)	Plano e suave ondulado
	LVd1	Latossolo vermelho distrófico típico A moderado	Média	Floresta subcaducifólia	Plano e suave ondulado
	LVd11	a) Latossolo vermelho distrófico típico b) Argissolo vermelho-amarelo eutrófico típico A/ chernozêmico c) Neossolo litólico típico chernossólico	a) Média b) Média c) Média	Cerrado, floresta caducifólia e campo cerrado (para todos)	Plano e suave; Ondulado e forte ondulado
	LVdf2	a) Latossolo vermelho distroférreo típico A moderado b) Argissolo vermelho-amarelo eutrófico típico A moderado c) Cambissolo háplico eutrófico típico A chernozêmico	a) Argilosa b) Média/Argilosa c) Média/Argilosa	Cerrado e Floresta Caducifólia	Plano/suave ondulado; Ondulado
Argissolos	PVAe17	a) Argissolo vermelho-amarelo eutrófico típico A moderado/ chernozêmico b) Latossolo vermelho-amarelo distrófico típico A moderado c) Cambissolo háplico distrófico típico e léptico A moderado	a) Média/Argilosa b) Média c) Média/Argilosa, cascalhento/não cascalhento	Floresta Caducifólia, Cerrado e Caatinga hipoxerófila (para todos)	Plano e suave ondulado e ondulado
	PVe1	Argissolo Vermelho Eutrófico típico A	Média/Argilosa e Argilosa	Floresta subcaducifólia	Ondulado

Fonte: UFV; CETEC; UFLA; FEAM (2011).

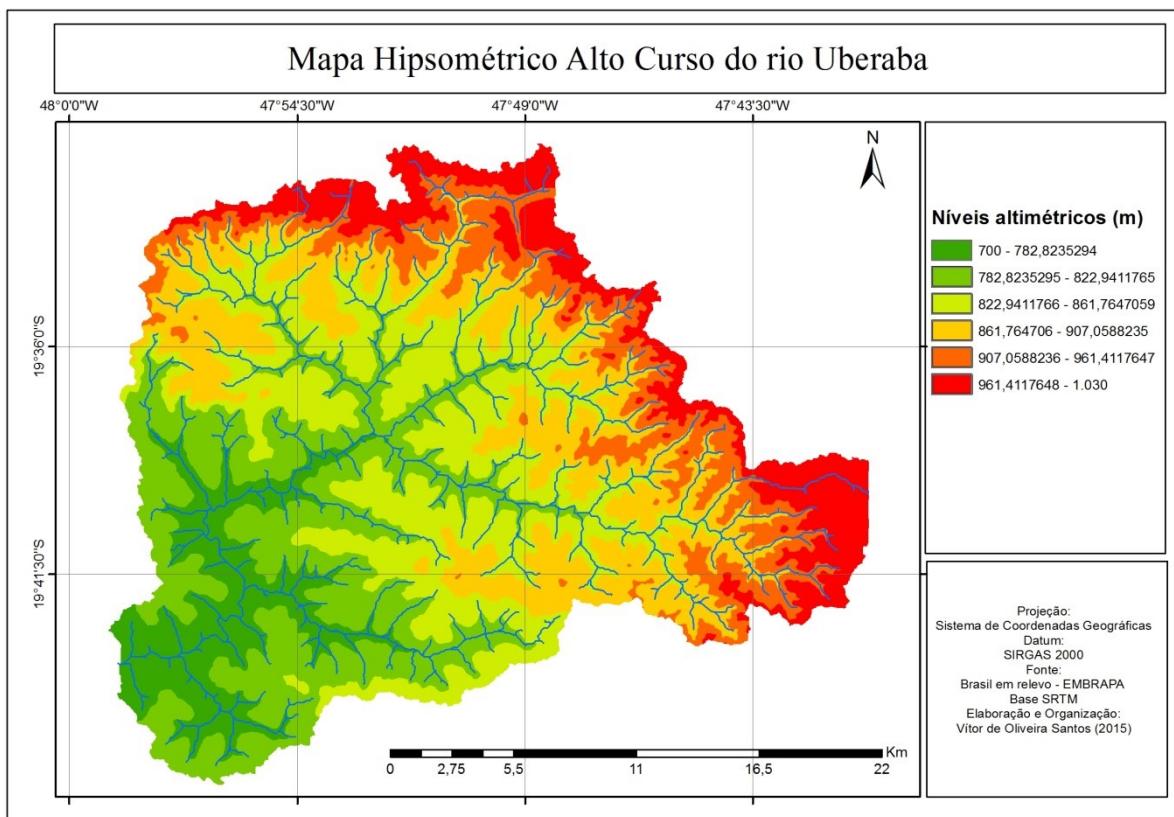
Mapa 4. Mapa de solos do alto curso da bacia do rio Uberaba



Geomorfologia no alto curso do rio Uberaba

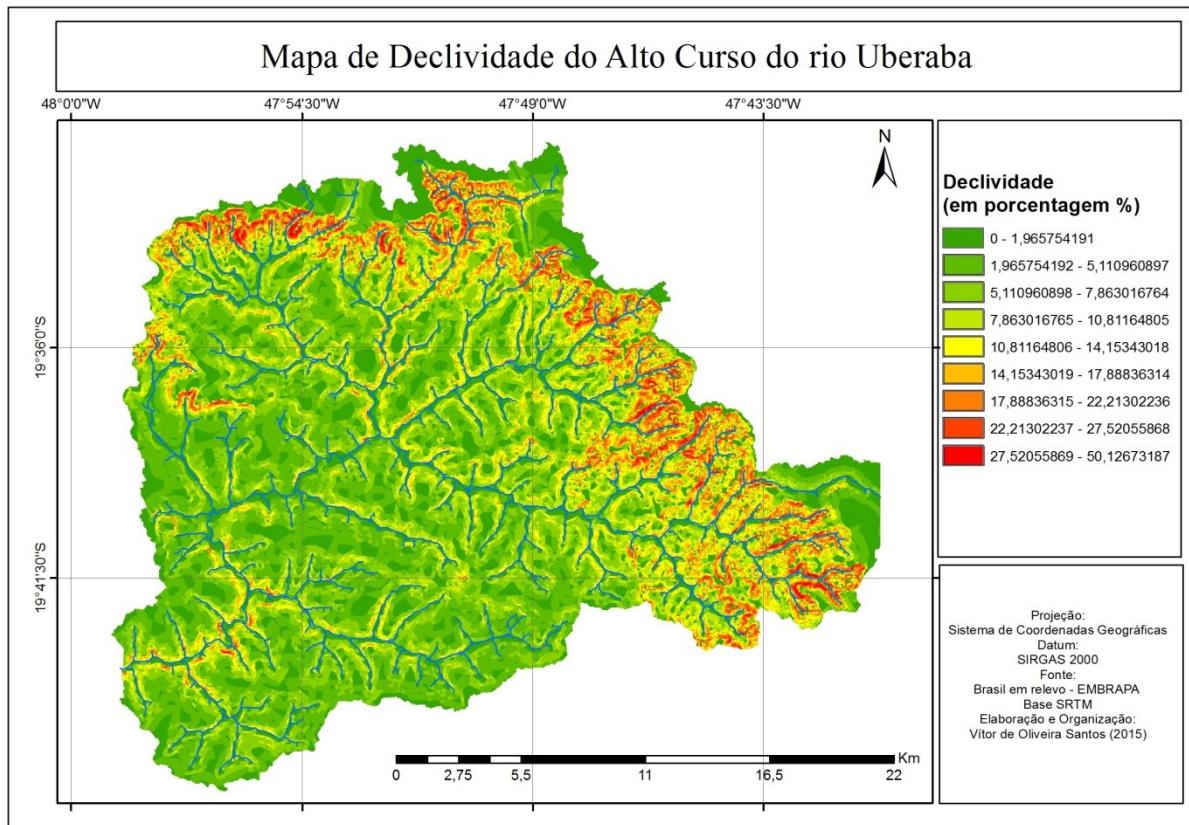
De acordo com Abdala (2005), a bacia do rio Uberaba, possui uma topografia suave ondulada a ondulada, sendo que o topo destes são chamados de chapadões. O mapa 5 demonstra a hipsometria do alto curso do rio Uberaba e a rede de drenagem , ambas extraídas através dos dados da Missão Topográfica Radar Shuttle – SRTM. Percebe-se que os níveis altimétricos na área de estudo variam de 700 metros a 1030 metros. As cabeceiras do rio Uberaba, como se pode notar na representação em vermelho, se localizam nos pontos altimétricos mais elevados, onde a altitude varia de 907 metros a 1030 metros. Já o exutório, localizado na própria calha do rio Uberaba, é onde se localiza os pontos altimétricos menores.

Mapa 5. Mapa de hipsometria do alto curso do rio Uberaba.



Analisando o mapa de declividade (Mapa 6) percebe-se que nas áreas das nascentes do rio Uberaba são onde ocorrem os maiores percentuais de declividade (entre 27% e 50%). A medida que deslocamos rumo ao exutório as declividades se atenuam, podendo estar entre 10% e 14% nas proximidades do curso principal da bacia do rio Uberaba, e entre 0% e 7% nos interflúvios e divisores de água (mapa 6).

Mapa 6. Mapa de declividade do alto curso do rio Uberaba.

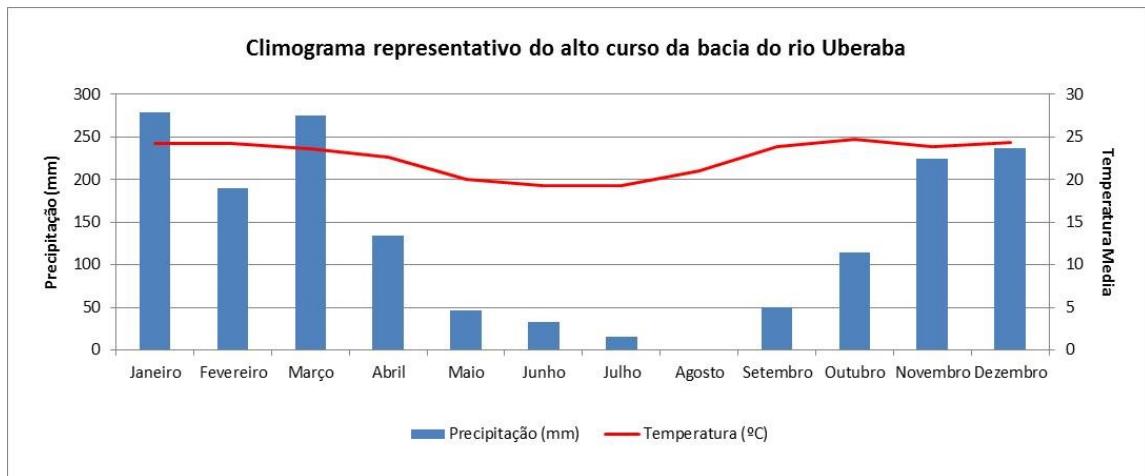


Clima no alto curso do rio Uberaba

O alto curso da bacia do rio Uberaba, assim como a maior parte da região do Triângulo Mineiro, apresenta clima tropical com estação seca de inverno, sendo que os maiores índices pluviométricos ocorrem com maior intensidade nos meses entre outubro e março. Os meses entre abril e agosto são considerados meses de estiagem, quando ocorre pouca ou nenhuma precipitação.

Na figura 3 pode-se visualizar o climograma referente aos dados da estação INMET 83577, localizada no município de Uberaba, em Minas Gerais, estando dentro dos limites da área de estudo. Foram utilizados dados médios mensais de precipitação pluviométrica e temperatura dos últimos seis anos (2010-2015), conforme a Tabela 2.

Figura 3. Climograma do município de Uberaba/MG para os anos entre 2010 e 2015.



Fonte: BDMEP³ (2016). Org. Vítor de Oliveira Santos (2016).

Tabela 2. Médias mensais de precipitação e temperatura dos anos entre 2010 e 2015 no município de Uberaba.

Estação	Verão			Outono			Inverno			Primavera			
	Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Prec. (mm)		279	189,7	275,2	133,9	46,8	33,3	15,7	0,73	49,7	113,9	225,1	236,6
Temp. (°C)		24,2	24,2	23,6	22,6	20,0	19,4	19,3	21,0	23,9	24,8	23,9	24,3

Fonte: BDMEP, 2016.

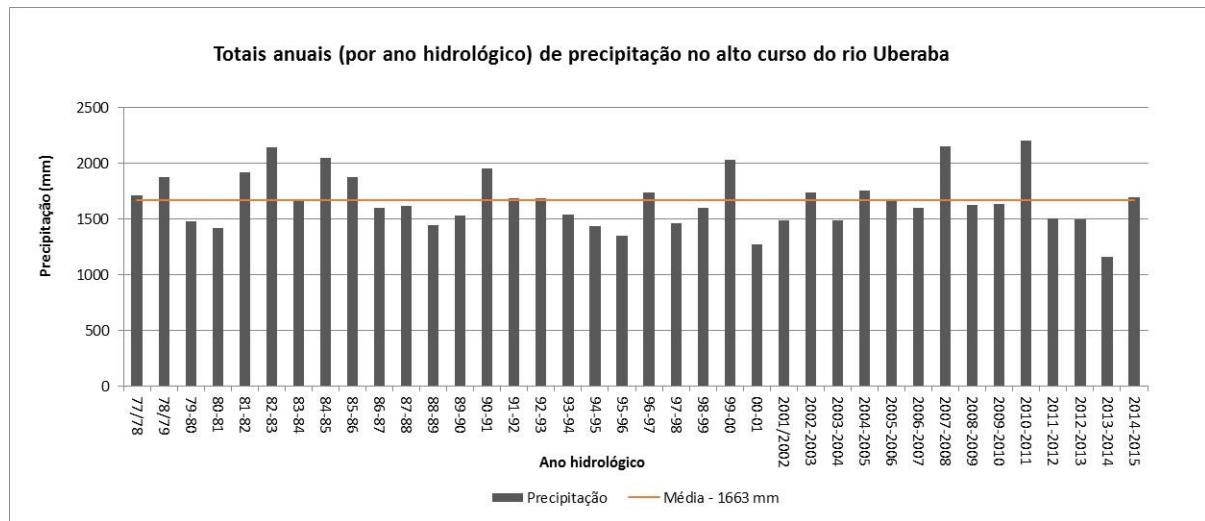
Através do climograma apresentado, é possível perceber que a menor temperatura média no intervalo considerado ocorreu no mês de julho (19,3°C). Por sua vez, a maior temperatura média ocorreu no mês de outubro, sendo este mês caracterizado pelo início do período chuvoso na região.

Os meses que apresentaram maiores médias de precipitações foram janeiro e março (média de 279 mm e 275,2 mm, respectivamente). Em contrapartida, no mês de agosto a média pluviométrica para o período considerado ficou abaixo de 1 mm.

Na figura 4, pode-se se encontrar um histórico dos totais anuais de precipitação no alto curso da bacia do rio Uberaba.

³ Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>

Figura 4. Totais anuais de precipitação no alto curso da bacia do rio Uberaba entre os anos hidrológicos de 1977-1978 e 2014-2015.



Fonte: BDMEP (2016)

De acordo com o gráfico representado na figura 11, no período amostrado, o ano hidrológico em que ocorreram as maiores precipitações foi o ano hidrológico de 2010-2011, quando foram precipitados 2203,5 mm de chuva. Por sua vez, o ano hidrológico em que ocorreram as menores precipitações foi o ano hidrológico 2013-2014, quando foram precipitados 1155,1 mm. As baixas precipitações ocorridas nestes anos corroboram parcialmente a escassez de água detectada no período, quando a administração municipal de Uberaba teve que utilizar as águas provenientes do rio Claro, através de transposição, para suprir a demanda hídrica do município. Percebe-se ainda, que a média pluviométrica para o período entre 1977 e 2015 é de 1663 mm e que em vinte e três anos hidrológicos, os índices pluviométricos ficaram abaixo do valor médio.

Dados sobre utilização dos Recursos Hídricos

A tabela 3 demonstra a evolução do uso das águas no município de Uberaba, onde a captação de água para abastecimento público provém das águas do rio Uberaba. Foram considerados os seguintes dados: população atendida com abastecimento de água; população urbana atendida com o abastecimento de água; volume de água produzido; volume de água consumido, entre os anos de 1995 e 2014.

Tabela 3. Dados acerca do abastecimento público no município de Uberaba/MG.

Anos	População total atendida com abastecimento de água (Habitantes)	Volume de água produzido (1000 m³/ano)	Volume de água consumido (1000 m³/ano)	População urbana atendida com abastecimento
2014	315.264	35.194,40	21.751,18	311.691
2013	312.206	35.542,91	22.059,66	308.315
2012	301.140	35.010,72	21.741,87	295.863
2011	296.370	33.001,20	21.450,53	292.674
2010	293.190	24.544,27	20.070,70	289.376
2009	287.873	30.923,00	18.141,00	284.129
2008	291.425	31.431,39	17.603,50	287.730
2007	288.541	28.045,45	17.561,75	284.882
2006	285.072	24.503,00	16.910,00	282.244
2005	277.258	20.310,00	16.480,00	274.458
2004	-	-	-	-
2003	258.625	23.561,00	16.526,00	258.625
2002	251.780	26.707,00	16.640,00	251.780
2001	251.780	26.819,00	16.618,00	250.680
2000	250.000	28.486,00	18.030,00	-
1999	247.531	29.320,00	17.799,00	-
1998	226.847	26.655,00	16.181,00	-
1997	222.000	25.221,50	24.674,00	-
1996	218.000	8.499,75	6.075,06	-
1995	276.000	25.915,00	16.425,00	-

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2015).

De acordo com os dados disponibilizados pelo SNIS⁴ (2015), tanto a população atendida pelo abastecimento público de água, quanto o volume de água produzido e consumido, além da população urbana atendida pelo abastecimento público oferecido pelo município de Uberaba, vem crescendo com o passar dos anos. No início da série histórica apresentada, a população total atendida pelos serviços públicos de abastecimento de água era de 276 mil habitantes. No ano de 2014, 315.264 pessoas usufruíram do abastecimento oferecido pela administração do município de Uberaba.

Com relação ao volume de água produzido, no ano de 1995 foram disponibilizados 25.195 (1000m³/ano) para a população residente em Uberaba. No ano de 2014, esse montante passou para 35.194,40 (1000m³/ano). Já o volume de água consumido, em 1995 essa variável alcançava 16.425 (1000m³/ano). No ano de 2014, a população atendida pelo abastecimento público consumiu 21.751 (1000m³/ano). Neste ano ainda, segundo o SNIS (2015), o índice de esgoto tratado referido ao total de água consumida foi de aproximadamente 60%.

A população urbana atendida pelos serviços de atendimento público do município de Uberaba, no ano de 2001 (o primeiro em que ocorreram as estimativas para essa variável) era de 250.680 habitantes. No ano de 2014, os dados disponibilizados pelo SNIS já demonstravam um aumento nessa população, apresentando 311.691 habitantes.

O aumento da população atendida pelos serviços de abastecimento público do município de Uberaba está em consonância com o aumento da população geral do município de Uberaba (Tabela 4). De acordo com o IBGE (2015) a população de Uberaba em 1991 era de 211.824 habitantes. No ano de 2010, já se registravam aproximadamente 296.000 habitantes, totalizando um aumento de 40% em 20 anos. No ano de 2014, a população estimada era de 318.813 habitantes (aumento de aproximadamente 50%, tomando como base a população do ano de 1991).

Tabela 4. Evolução da população residente no município de Uberaba.

Ano	População
1970	124.490
1980	199.203
1991	211.824

⁴ Disponível em: <www.snis.gov.br>.

2000	252.051
2010	295.988
2014 (população estimada)	318.813

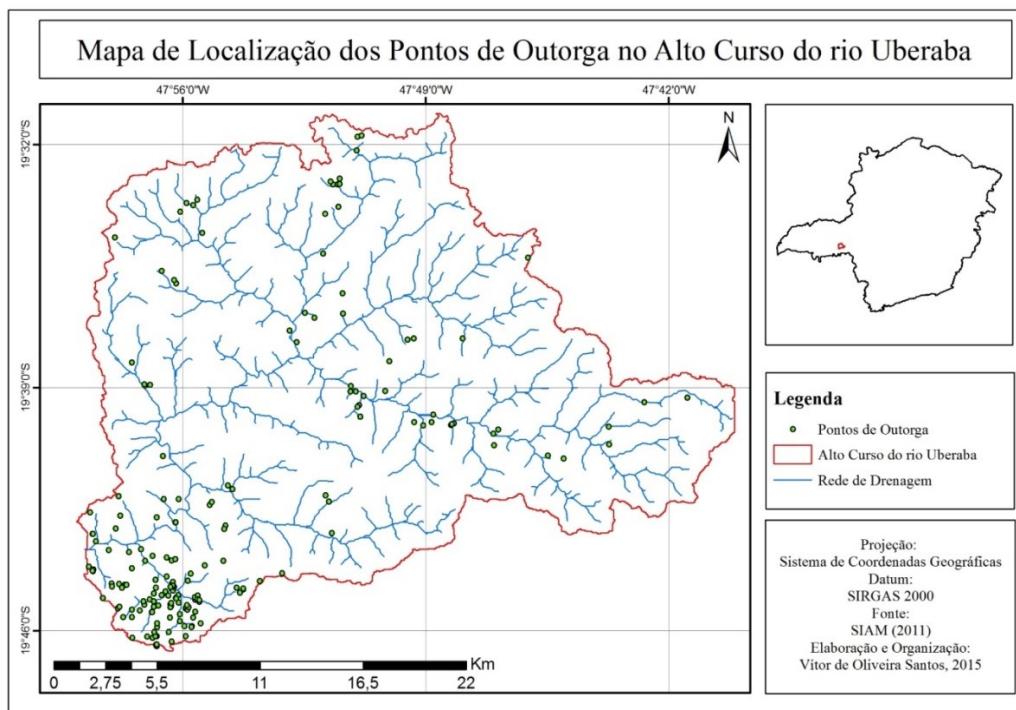
Fonte: IBGE (2015)

Outorgas de uso das águas no alto curso da bacia do rio Uberaba

Outra utilização dos recursos hídricos que é extensivamente requerido na área de estudo é a outorga de uso de recursos hídricos. No alto curso do rio Uberaba, segundo dados do Sistema Integrado de Informação Ambiental -SIAM (2011), são 187 pontos de captação de água. Estes pontos abrangem captações em poço tubular, captação superficial em represamentos e captação de águas superficiais diretamente nos cursos d'água.

Analizando o mapa de localização de outorgas no alto curso do rio Uberaba (mapa 7), percebe-se que a maioria dos pontos de captação se localiza próxima ao exutório da área de estudo, na área urbana do município de Uberaba. Por isso, conclui-se que esses pontos representam a utilização os recursos hídricos subterrâneos, realizado por instituições, postos de combustíveis, etc.

Mapa 7. Mapa de localização dos pontos de outorga no alto curso do rio Uberaba.



CAPÍTULO 4: MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Materiais

4.1.1. Materiais utilizados para análise hidrológica

Para a análise do comportamento das vazões do alto curso do rio Uberaba e das tendências de vazão foram utilizados dados de vazão captados pela Estação fluviométrica Uberaba – ANA, código 61794000, localizada às margens do rio Uberaba, próxima à ponte da BR-050, e a jusante do ponto de captação de água para o abastecimento público do município de Uberaba. Cabe ressaltar que tal captação é realizada à fio d'água⁵. A referida estação fluviométrica está localizada nas coordenadas geográficas 19°43'38"S e 47°58'44"O e representa uma área de drenagem de 566 km². Os dados disponibilizados pelo portal *Hidroweb* ANA⁶ e utilizados para a composição deste trabalho são dados diários, dispostos em mínimas, médias e máximas mensais que abrangem uma série histórica entre os anos de 1976 e 2006⁷, completando assim 30 anos de dados.

Os dados de precipitação foram adquiridos, assim como os dados de vazão pelo portal *Hidroweb* – ANA. Para a montagem das séries históricas pluviométricas foram utilizados dados da estação pluviométrica Uberaba-INMET, código 01947016, localizada nas coordenadas geográficas 19°46'00"S e 47°56'00"O, a uma altitude de 743 metros. Os dados disponibilizados pela referida estação abrangem uma série histórica de aproximadamente 50 anos (1966 a 2015).

Com relação aos dados de temperatura, os mesmos foram adquiridos através do Banco de Dados Meteorológico para Ensino e Pesquisa – BDMEP, portal sob gestão do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Este banco de dados abriga dados meteorológicos

⁵ Captações a fio d'água ocorrem quando se utiliza uma pequena barragem, desprezando o volume do reservatório, onde a vazão de captação corresponde a uma pequena parcela da descarga mínima do curso d'água, havendo, portanto, extravasamento hídrico sobre o vertedouro da barragem.

⁶ Disponível em: <www.hidroweb.ana.gov.br>.

⁷ Esperava-se, para os objetivos da pesquisa, encontrar os dados de vazão do rio Uberaba que abrangessem até o período atual (2015), porém segundo consta no portal Hidroweb-ANA, a estação não apresenta dados entre os anos de 2007 e 2015. Foram feitos contatos com a CODAU para a utilização de dados de vazão do rio Uberaba no ponto de captação, sendo a disponibilização dos mesmos prontamente negados.

diários, captados pelas estações meteorológicas convencionais da rede de estações do INMET, seguindo as normas técnicas internacionais da Organização Meteorológica Mundial.

No BDMEP pode-se encontrar diversos dados climáticos tais como temperaturas médias, temperaturas máximas, temperaturas mínimas, precipitações, velocidade do vento, insolação, entre outros. Foram utilizados os dados da Estação Convencional INMET Uberaba, código 83577, localizada nas coordenadas 19°44'14"S e 47°56'59"O. Os dados de precipitação abrangem o período entre os anos de 1977 a 2014.

Além dos dados de temperatura, utilizou-se o BDMEP para adquirir os dados de precipitação com a finalidade de preenchimento das falhas encontradas na série temporal da estação pluviométrica Uberaba-INMET.

Para a análise estatística dos dados hidro-climáticos foram utilizados os programas computacionais Microsoft Office Excel 2010® e o programa estatístico XLSTAT®.

Preenchimento das falhas

Não raro as séries temporais de dados ambientais, sobretudo os de vazão e precipitação disponibilizados livremente através da internet apresentam falhas, seja por interrupção do monitoramento ou pela ausência do observador. Para a obtenção de séries temporais sem essas falhas, se torna necessário preencher tais espaços, para análise completa e confiável dos intervalos temporais estudados.

Um dos métodos de preenchimento de falhas mais utilizados na literatura é o da regressão linear simples ou múltipla, tendo como base os dados de estações ou postos de leituras vizinhos para obtenção da correlação com a estação de interesse.

Na regressão linear simples, por exemplo, os dados de chuva ou vazão de determinada estação que apresentar falhas são correlacionados com os dados do posto de leitura vizinho, sem falhas, utilizando a fórmula “ $Y = a + b.X$ ”, onde Y representa os dados da estação que deseja preencher os erros. Por sua vez, X representa os dados da estação vizinha.

No trabalho de Bertoni e Tucci (2009) podem-se encontrar diversas outras metodologias de preenchimento de falhas, porém os autores não recomendam a utilização de tais metodologias para o preenchimento de falhas em dados diários, sendo mais recomendada a utilização para preenchimento de falhas em dados mensais e anuais.

Devido à ausência de estações fluviométricas e pluviométricas que possuam séries temporais com dados consistentes no âmbito do alto curso da bacia do rio Uberaba, utilizou-se o método da regressão linear simples para o preenchimento dos dados mensais de vazão e de precipitação, e extensão dos dados de vazão para obtenção de uma série temporal mais abrangente.

Para tanto, utilizou-se o coeficiente de correlação (r) para verificar se as séries temporais dos postos com falhas estão em consonância com os dados dos postos com dados completos: a estação fluviométrica escolhida para preencher as falhas da estação de dados de vazão que compôs este trabalho (Estação fluviométrica Uberaba – 61794000) foi a Estação fluviométrica Conceição das Alagoas, código 61795000, localizada à jusante da primeira estação citada e também à jusante da área de estudo, extrapolando seus limites. A tabela abaixo demonstra o resultado das correlações entre os postos de vazão e precipitação com falhas e os postos com dados mais robustos.

Tabela 5. Coeficiente de correlação (r) entre as estações de séries temporais com falhas e estações com dados para preenchimento.

Séries Temporais	Coeficiente de correlação (r)
Vazões Médias mensais (Estação fluviométrica Uberaba ANA ¹ - código 61794000 x Estação fluviométrica Conceição das Alagoas ² – código 61795000	0,89
Vazões Mínimas Mensais (Estação fluviométrica Uberaba ANA ¹ - código 61794000 x Estação fluviométrica Conceição das Alagoas ² – código 61795000	0,84
Vazões Máximas Mensais (Estação fluviométrica Uberaba ANA ¹ - código 61794000 x Estação fluviométrica Conceição das Alagoas ² – código 61795000	0,79

Legenda: ¹Estação com falhas e utilizada neste trabalho; ² Estação sem falhas (utilizadas para realização do preenchimento das falhas de vazão).

Percebe-se que existe uma forte correlação das séries históricas de vazões máximas mensais e mínimas mensais da Estação fluviométrica Uberaba – 61794000 e a Estação fluviométrica Conceição das Alagoas – 61795000, pois seus valores se aproximam de 1($r = 0,89$) . Quanto

mais o coeficiente de correlação se aproximar de 1, mas forte é a correlação entre as variáveis. Em contrapartida, quanto mais próximo de zero for o coeficiente menor é a correlação. Percebe-se, de acordo com a tabela acima, que o coeficiente de correlação entre as vazões máximas mensais adquiridas pela Estação fluviométrica Uberaba – 61794000 e a Estação fluviométrica Conceição das Alagoas – 61795000 é de 0,79. Para os valores mínimos entre as estações supracitadas, o coeficiente de correlação foi de 0,84.

Seguindo as recomendações de Bertoni e Tucci (2009), não foi realizado o preenchimento das falhas nos dados diários, mas apenas nos dados mensais. Por este motivo as séries históricas de vazões de dias de estiagem foram consideradas até o ano hidrológico de 2005/2006. Em contrapartida, pôde-se realizar a extensão das séries das vazões máximas e mínimas mensais, em que os dados disponibilizados pela ANA vão apenas até o ano de 2006. Após a extensão da série histórica, os dados atingiram o ano hidrológico 2009/2010 (último ano de atividade da estação fluviométrica Conceição das Alagoas – estação na qual os dados foram utilizados para preenchimento das falhas).

Os dados de precipitação disponibilizados pela Agência Nacional de Águas – ANA se apresentaram bastante consistentes, sendo necessário preencher apenas algumas falhas pontuais.

O quadro 3 apresenta o período de dados utilizados neste trabalho, após o tratamento dos mesmos (preenchimento das falhas e extensão das séries), para as variáveis vazão e precipitação..

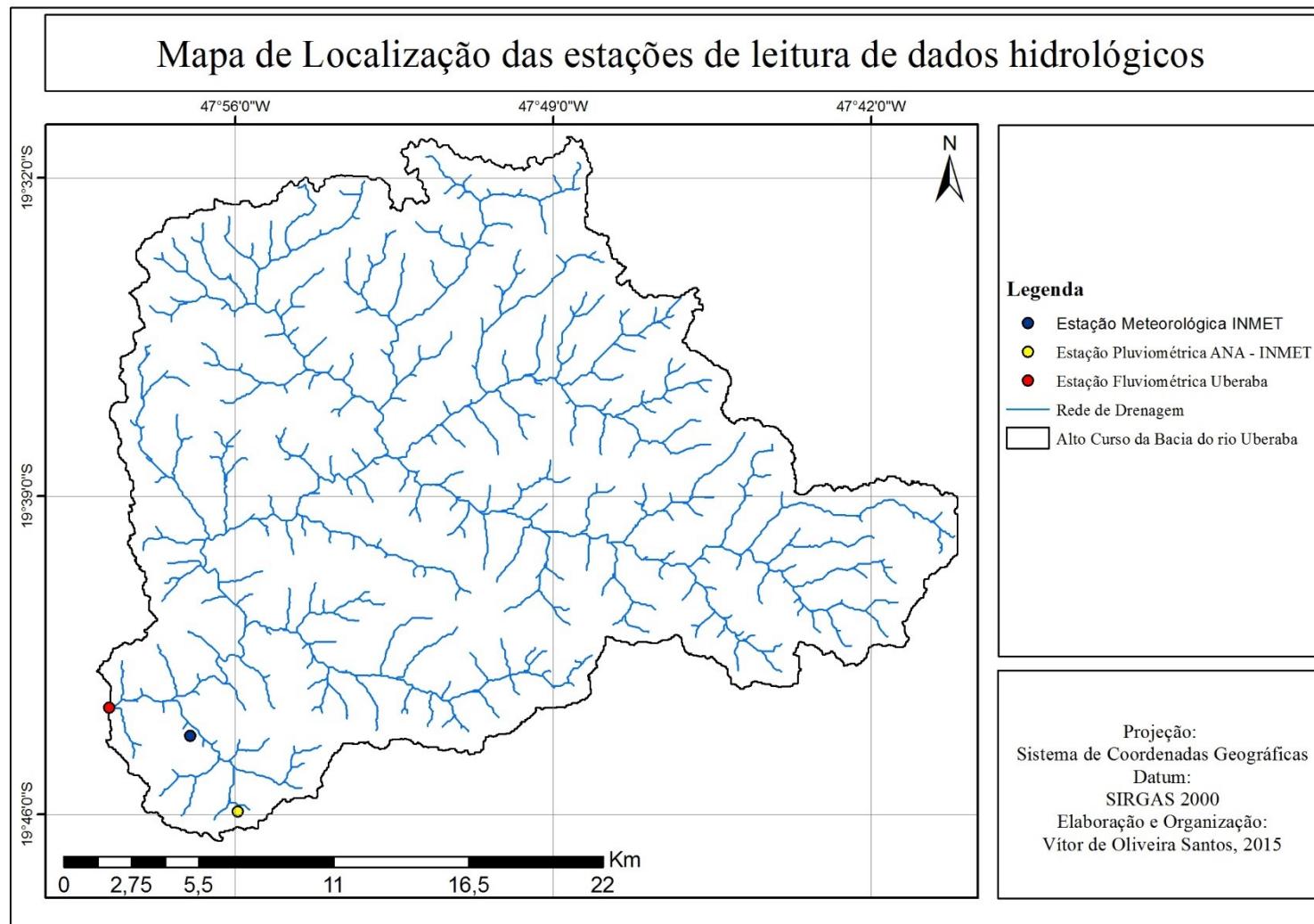
Quadro 3. Período dos dados utilizados para as análises hidrológicas

Variável	Período considerado
Vazões de 7, 15, 20, 30 e 45 dias de estiagem	1976/1977 – 2005/2006
Vazões Máximas e Mínimas	1976/1977 – 2009/2010
Precipitação	1977/1978 – 2013/2014

Para suavizar as séries temporais, diminuindo a amplitude entre os valores extremos mínimos e máximos, foi utilizado o filtro de média móvel de 5 termos em todas as séries históricas que compuseram este trabalho.

No mapa 8 se encontra a localização das estações fluviométrica e pluviométricas, no âmbito do alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba, que registraram os dados utilizados neste trabalho.

Mapa 8. Mapa de localização da Estação Fluviométrica Uberaba, da Estação Pluviométrica ANA e da Estação Meteorológica INMET.



Estabelecimento das séries históricas de vazões de 7, 15, 20, 30 e 45 dias de estiagem e vazões máximas e mínimas mensais, dados pluviométricos e dados de ETP, ETR, DEF e EXC.

Uma das maneiras de verificar a relação entre as mudanças no uso das terras e seus respectivos impactos nos escoamentos é analisar a evolução temporal do regime de vazão em períodos de cheia e de estiagem, porém, devido à variabilidade espacial das precipitações, a identificação de possíveis mudanças no aumento do escoamento superficial se torna difícil, sendo que a análise das vazões nos períodos de estiagem pode apresentar resultados mais robustos do que os apresentados pelos períodos de cheia (PEREIRA, 2012).

Sendo assim, decidiu-se analisar as vazões em dias de estiagem. De posse da série histórica de vazão e precipitação, primeiramente buscou-se em cada ano hidrológico um intervalo de 45 dias sem chuvas significativas. Para este trabalho, foi estabelecido como chuvas significativas a quantidade de 10 mm de precipitação (quantidade de chuva duas vezes maior, ou mais, do que a média diária de precipitação no alto curso da bacia do rio Uberaba). Após a identificação do intervalo de 45 dias sem chuvas significativas, retornou-se ao primeiro dia após o evento pluviométrico acima de 10 mm, fazendo assim a contagem de 1 a 45. Contando, inicialmente até o dia 7 sem precipitações, verifica-se a vazão do dia seguinte na série temporal de vazões de cada ano, e assim consequentemente, obtendo-se as vazões de 7, 15, 20, 30 e 45 dias de estiagem.

As vazões máximas e mínimas mensais são disponibilizadas pelo portal Hidroweb da ANA, através dos dados coletados pela Estação Fluviométrica Uberaba – 61794000 em planilhas, sendo apenas necessária a disposição dos dados em períodos de estiagem e períodos chuvosos. Considerou-se período de chuvoso o intervalo entre os meses de outubro e março. Por sua vez, os períodos secos foram estabelecidos considerando os meses entre abril e setembro de cada ano hidrológico.

Os dados de precipitação, também disponibilizados pelo portal Hidroweb, da ANA, assim como os dados de vazão máxima e mínima mensal foram organizados de modo a considerar os períodos chuvosos e períodos de estiagem. Além disso, para essa variável, foram considerados os períodos trimestrais de cada ano hidrológico (outubro/novembro/dezembro – OND, janeiro/fevereiro/março – JFM, abril/maio/junho – AMJ, julho/agosto/setembro – JAS).

A maneira como cada variável foi considerada neste trabalho se encontra no quadro abaixo.

Quadro 4. Organização dos dados de vazão e precipitação.

Séries históricas	Organização dos dados
Vazões de 7, 15, 20, 30 e 45 dias de estiagem	Série histórica normal por ano hidrológico
Vazões máximas e mínimas mensais	Série histórica normal mensal Séries históricas sazonais (períodos chuvosos e períodos secos)
Precipitação	Totais anuais Séries históricas trimestrais (OND, JFM, AMJ, JAS) Séries históricas sazonais (períodos chuvosos e secos)

4.1.2. Materiais utilizados para análise do uso e ocupação das terras

Para identificar os padrões de uso e ocupação das terras do alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba foram utilizadas imagens do satélite *Landsat 5*, dos anos de 1985, 1988, 1995 e 2005, e do *Landsat 8* dos anos de 2014 e 2015, a saber:

Satélite	Data da imagem	Órbita/Ponto
<i>Landsat 5</i>	20/04/1985	220/074
	23/01/1988	
	02/05/1995	
	01/08/2005	
<i>Landsat 8</i>	08/01/2014	220/074
	29/01/2015	

Para o processamento das imagens e confecção dos mapas foram utilizados os softwares Envi, Arcgis e QuantumGis – Qgis.

4.2. Métodos

4.2.1. Metodologia de identificação e análise das tendências

Como já fora dito, para a identificação e análise das tendências nos índices de vazões de 7, 15, 20, 30 e 45 dias de estiagem, nas vazões máximas e mínimas médias e nos índices

pluviométricos foram utilizados os testes estatísticos de Regressão Linear Simples, e os testes não-paramétricos de Mann-Kendall, Mann-Kendall Sazonal, Curvatura de Sen (*Sen's slope*) e o teste de homogeneidade de Pettitt. As fórmulas e aplicações dessas metodologias podem ser encontradas nos trabalhos de Back (2001), Ferrari (2012), Groppo et. al. (2005), Helsel e Hirsch (2002), Kendall (1975), Mann (1945), Moraes et.al. (1997), Mortatti et. al. (2005), Penereiro e Ferreira (2012), Pettitt (1979), Sneyers (1975), entre outros.

4.2.2. Metodologia de identificação das mudanças nos padrões de uso e ocupação das terras.

Com relação ao uso do solo, foi realizada pesquisa bibliográfica de estudos disponíveis para a verificação da dinâmica dos padrões de uso das terras no alto curso da bacia do rio Uberaba. Para tanto foram utilizados os resultados apresentados por Cruz (2003) e pelo projeto Terraclass (2015), projeto este que mapeou o uso e ocupação das terras no âmbito do bioma Cerrado. Além disso, foram feitas interpretações visuais das composições coloridas de imagens dos satélites Landsat 5, dos anos de 1985, 1995 e 2005 e do satélite Landsat 8 do ano de 2015.

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index

O NDVI, Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, foi concebido para produzir um índice de vegetação espectral que consegue apartar a vegetação de tonalidade verde do brilho dos solos e é expresso como a diferença entre a banda do infravermelho próximo e vermelho, normalizada pela soma dessas bandas das imagens de satélite (ROSA, 2011).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (10)$$

Segundo Rosa (2011) este é o índice de vegetação mais empregado e detém ferramentas para minimizar os efeitos topográficos ao produzir uma escala de medida linear, possuindo uma variação de -1 a 1 em seus valores. Quanto mais próximo de 1, maior é o índice de vegetação, em contrapartida, quanto mais próximo de -1 for o valor do NDVI, menor é a densidade da

vegetação, assim como apresentadas em áreas urbanas e sobre a superfície de reservatórios de água.

Nesta pesquisa, o NDVI foi utilizado para estimar as áreas de agricultura em dois períodos distintos (década de 1980 e atual) em períodos de safra. Para tanto, foram utilizadas imagens do satélite *Landsat 5* e *Landsat 8* para os períodos citados.

CAPITULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Resultados

5.1.1. Exploração dos dados hidrológicos: precipitação e vazão

Nesta seção serão abordados os resultados das análises estatísticas dos dados de precipitação e vazão (entradas e saídas de água na área de estudo). Como já fora citado, utilizou-se os métodos de regressão linear, e dos métodos estatísticos não-paramétricos de Mann-Kendall, Sen's slope e Pettitt.

Como já fora visto no referencial teórico deste trabalho, as mudanças na dinâmica hídrica podem possuir diversas causas, sejam elas de ordem natural (aumento ou diminuição das precipitações) ou antrópicas (mudanças no uso das terras, aumento da vazão de captação de água para abastecimento público, expansão urbana, etc.).

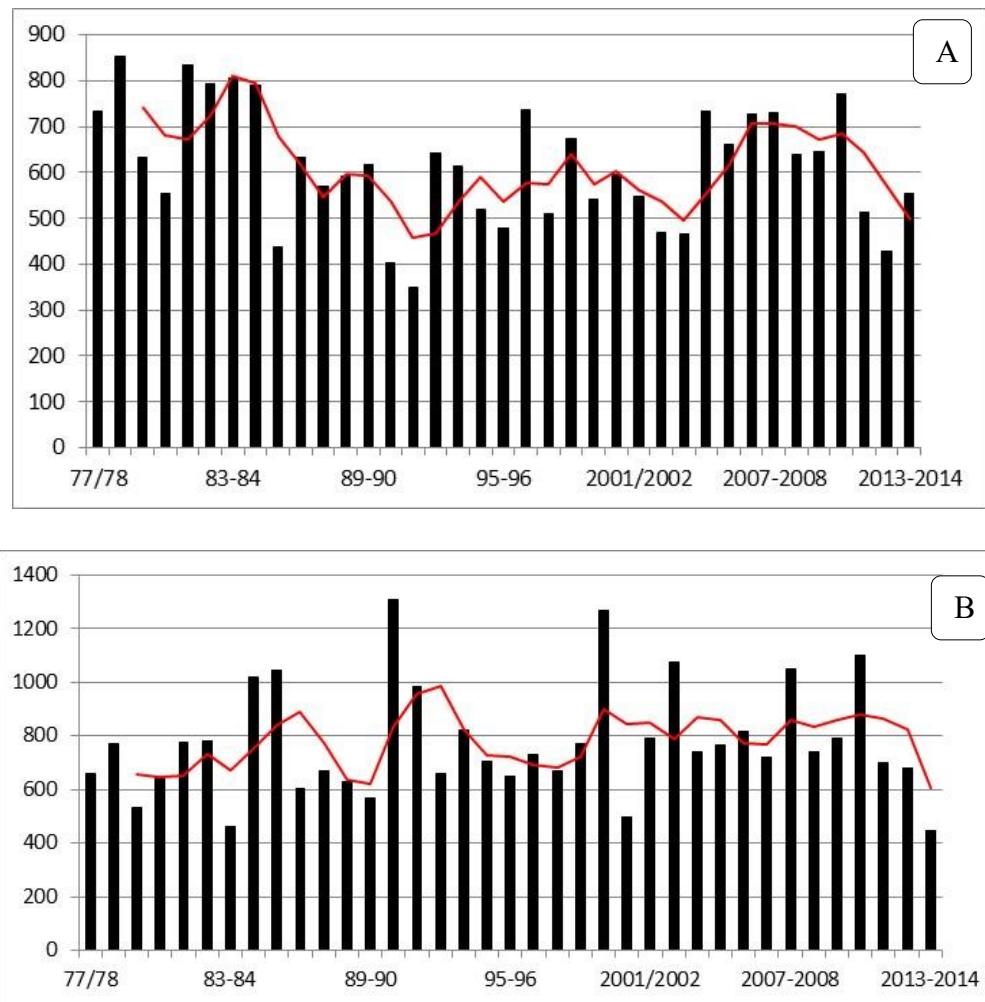
Para a análise das tendências nos dados de precipitação, serão considerados os totais anuais de precipitação (ano hidrológico), os totais trimestrais de cada ano hidrológico (outubro-novembro-dezembro, janeiro-fevereiro-março, abril-maio-junho, julho-agosto-setembro) e as precipitações acumuladas nos períodos chuvosos (precipitações entre os meses de outubro e março) e períodos secos (abril a setembro). Esta análise aborda um intervalo de 37 anos, se iniciando no biênio 1977-1978 até o biênio de 2013-2014.

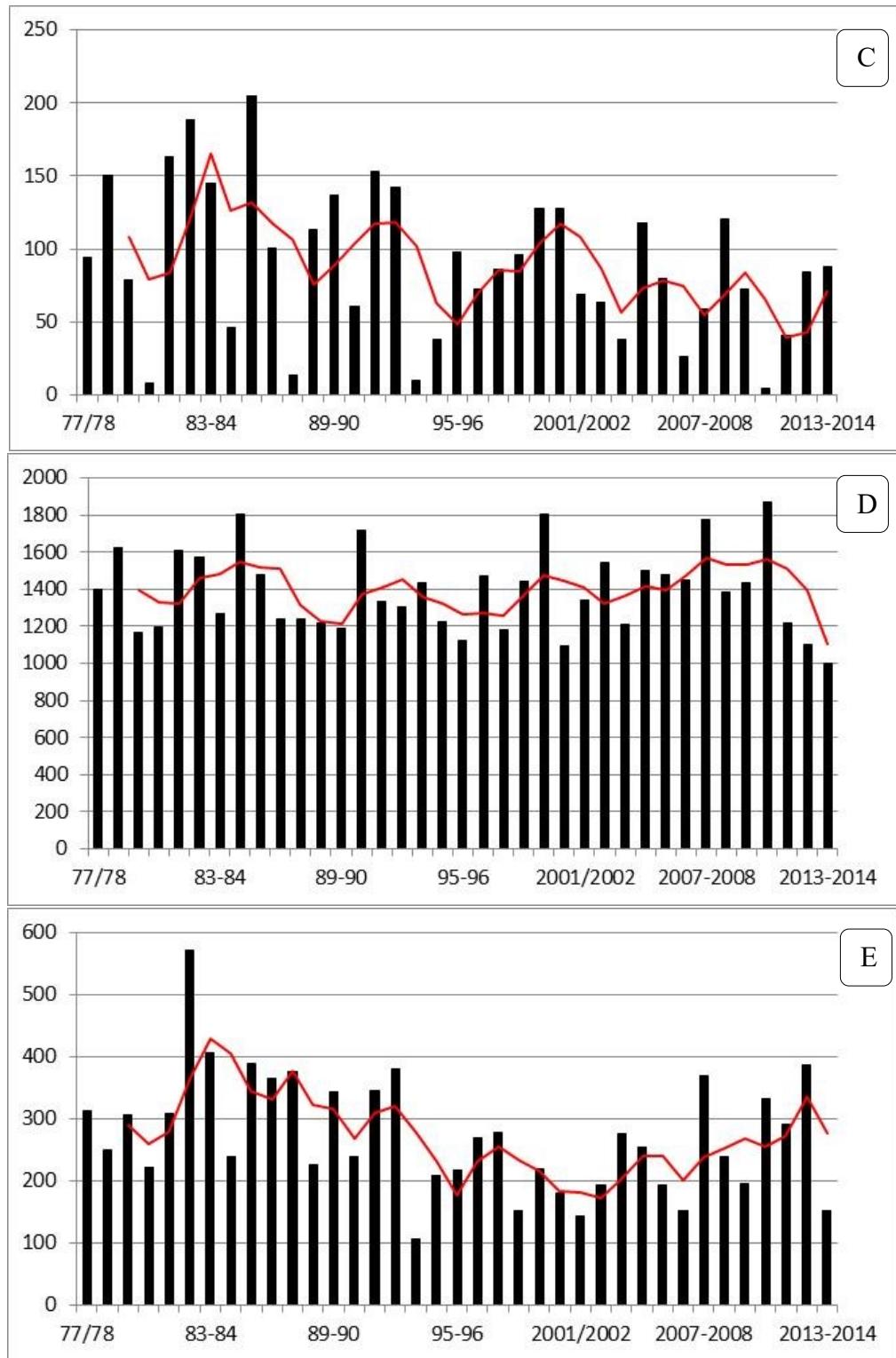
A exploração dos dados de vazão foi realizada considerando as vazões de 7, 15, 20, 30 e 45 dias de estiagem, adaptando o método utilizado por Pereira (2012). A análise dos dados de vazão de estiagem abrange um intervalo de 29 anos (1977-2006), aproveitando ao máximo a disponibilidade de dados. Além das vazões de estiagem, foram consideradas as séries históricas de vazões máximas e mínimas entre os anos de 1977 e 2010. Com a finalidade de buscar tendências refletidas nas sazonalidades que os períodos secos e chuvosos apresentam, foram consideradas também as vazões mensais dos períodos secos e dos períodos chuvosos entre os anos 1977 e 2010.

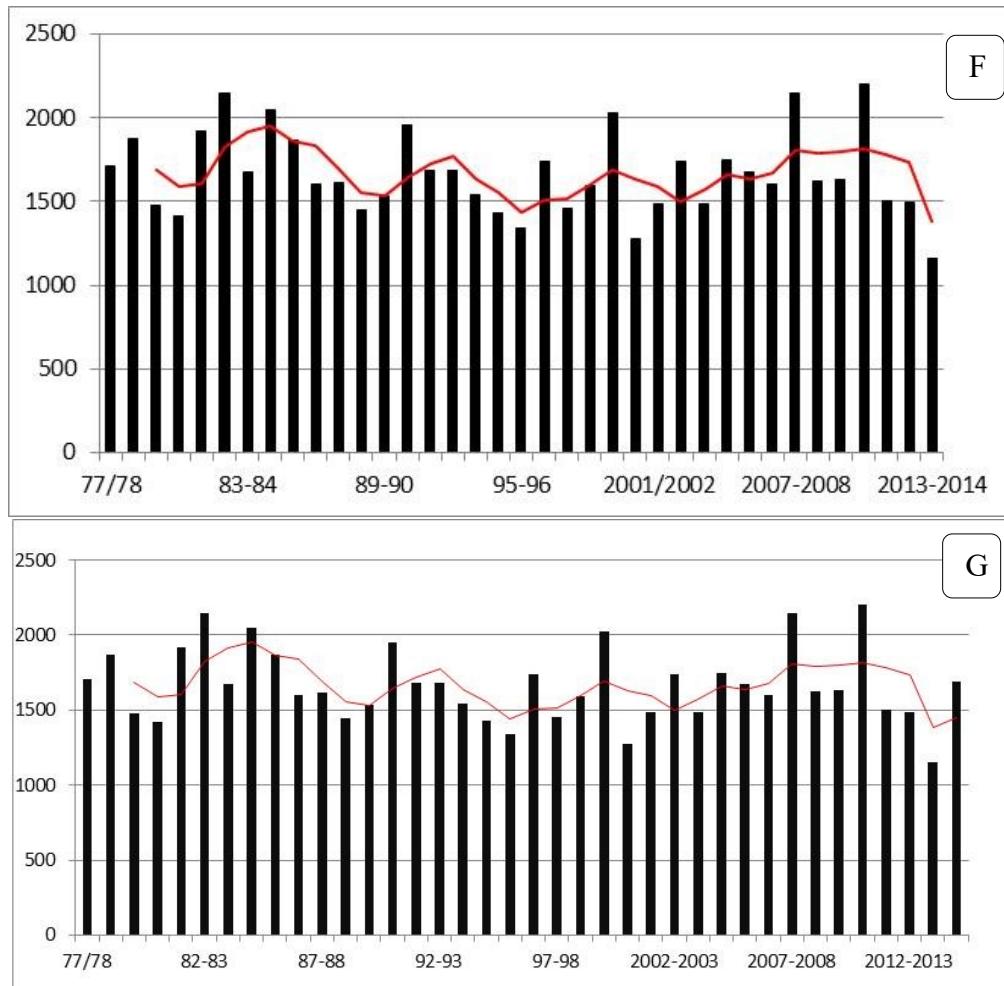
Análise exploratória dos dados de precipitação pluviométrica

Na figura 5, pode-se encontrar os dados brutos de precipitação referentes aos trimestres outubro-novembro-dezembro (A), janeiro-fevereiro-março (B), abril-maio-junho (C), julho-agosto-setembro (D), aos períodos secos (E) e chuvosos (F) e os totais anuais (G).

Figura 5. Dados brutos de precipitação no alto curso do rio Uberaba, em mm/periódico (ano).







Legenda: A) outubro-novembro-dezembro - OND; B) janeiro-fevereiro-março - JFM; C) abril-maio-junho - AMJ; D) julho-agosto-setembro - JAS; E) período seco; F) período chuvoso; G) total anual. **Fonte:** Agência Nacional de Águas – ANA. **Linha vermelha:** Média móvel de três termos.

De acordo com os gráficos apresentados pela figura 5, percebe-se que o maior índice pluviométrico registrado na estação de análise para OND foi no ano hidrológico 78/79, quando foram precipitados 853,3 mm de chuva. Por sua vez, o menor índice de chuvas para a série histórica desse trimestre ocorreu no ano hidrológico 91/92 (350,7 mm). Analisando a curva representativa de média móvel, percebe-se um período de paulatina redução das precipitações entre os anos de 1977 e 1992. Já no período consistido entre os anos de 1993 e 2004, ocorreram várias precipitações abaixo da média para o trimestre OND, estimada em 616,05mm. Após esse período, houve um aumento nas precipitações entre os anos de 2005 e 2011. Em contrapartida, a partir dos anos de 2011 a 2014, as precipitações do trimestre OND voltaram a apresentar tendência de redução, sendo que neste período foram registrados os menores índices de chuva para o período na série histórica considerada.

No trimestre JFM o ano hidrológico em que ocorreram as chuvas mais intensas foi 90/91, quando foi registrado um acumulado de 1310,2 mm. Na série histórica dos períodos chuvosos, o ano hidrológico em que foi registrado maior índice pluviométrico foi 2010/2011, quando foram acumulados 1871,7 mm de chuva. A linha de média móvel confeccionada para o período indica tendência de aumento entre os anos de 1977 e 1986. Entre 1987 e 1990, as precipitações do trimestre JFM ficaram abaixo da média para o período da série histórica, apresentando assim, tendência de redução. A partir de então, ocorreram os maiores índices pluviométricos para o período, além de valores mais próximos da média (774,03mm), havendo também uma estabilidade pluviométrica entre os anos de 1998 e 2010. Nota-se, ainda que entre os anos de 2011 e 2014 houve uma baixa ocorrência de chuvas, sendo que no biênio 2013-2014 se registrou o menor índice pluviométrico em toda a série histórica para o trimestre JFM.

Para o trimestre AMJ, já considerado o período seco, as maiores precipitações ocorreram no ano hidrológico 82/83 (382,3mm). No ano hidrológico 00/01 foi registrado o menor índice pluviométrico para o semestre AMJ: 53mm. A linha da média móvel indica que nos anos entre 1977 e 2000 existe uma tendência de redução das chuvas. Entre os anos de 2001 e 2013, a linha de tendência indica um aumento das precipitações.

Por sua vez, no trimestre JAS, o maior acumulado de precipitação atingiu 204,9mm no ano hidrológico 85/86. Quando se considera os dados do período seco em geral, percebe-se que as maiores precipitações ocorreram no biênio 82/83, quando foi registrado um acumulado de 571,1mm de chuva. A média móvel do trimestre JAS aponta uma redução paulatina das precipitações ao longo de toda a série histórica, apesar da existência de flutuações dos dados.

Para a série histórica dos períodos chuvosos entre os anos de 1977 e 2014, o ano em que houve as mais intensas precipitações no período citado foi o ano hidrológico 2010-2011 (1871 mm). Por sua vez, o período chuvoso com o menor índice de precipitação acumulada ocorreu em 2013 e 2014, quando foram precipitados 1002,9 mm. A linha de média móvel para o período não apresentou um padrão definido, demonstrando flutuações nas tendências ao longo da série histórica. Porém, nos últimos três anos da série histórica, houve uma forte queda das precipitações.

A série histórica dos períodos secos apresentou seu maior índice no ano hidrológico de 1982-1983, quando foram precipitados 571 mm. Já o menor índice de precipitação dos períodos secos ocorreu no ano hidrológico 1993-1994 (107,4 mm). A média móvel para a referida série histórica indicou uma sensível redução no período compreendido entre os anos de 1982-1983 e 1995-1996, procedida de um leve aumento entre os anos de 1997-1998 e 2012-2013.

Com relação aos totais anuais, o ano hidrológico de maiores precipitações foi o 2010/2011, quando foi precipitado um montante de 2203,5mm. Por sua vez, o ano hidrológico de menores chuvas foi o ano de 2013/2014, quando foram precipitados 1155,1mm. A média móvel dos índices pluviométricos dos totais anuais não apresentou um padrão, sendo identificadas diversas flutuações ao longo da série histórica.

Tendências nas séries históricas de precipitação

Os resultados dos testes de tendência nas séries históricas de precipitação para os trimestres outubro-novembro-dezembro, janeiro-fevereiro-março, abril-maio-junho e julho-agosto-setembro, e para os períodos chuvosos, períodos secos e totais anuais, podem ser encontrados sumarizados na tabela 6. Logo após a sumarização serão apresentados os resultados de cada período, separadamente.

Tabela 6. Resultados dos testes de regressão linear simples, Mann-Kendall, Curvatura de Sen e Pettitt para as séries de precipitação.

Teste Paramétrico							
Regressão Linear							
Séries Históricas	Coeficiente angular	Coeficiente de det. (r^2)	Limite inferior Coef. Angular (95%)	Limite superior Coef. Angular (95%)	Variação na série		
OND	-2,7585	0,15	-5,016	-0,501		-102,0645	
JFM	2,5949	0,139	0,379	4,811		96,0113	
AMJ	-1,2476	0,087	-2,632	0,137		-46,1612	
JAS	-1,629	0,564	-2,087	-1,119		-60,273	
Período Seco	-2,8506	0,312	-4,305	-1,397		-105,4722	
Período Chuvoso	-0,1636	0	-3,088	2,761		-6,0532	
Total Anual	-3,0142	0,085	-6,416	0,387		-111,5254	
Testes não-paramétricos							
Mann-Kendall							
Séries Históricas	<i>Kendall's Tau</i>		<i>p-value</i> *	Significância Estatística**		Curvatura de Sen	
OND	-0,216		0,061	NS		-2,391	
JFM	0,3		0,009	S+		3,292	
AMJ	-0,228		0,048	S-		-1,518	
JAS	-0,592		<0,0001	S-		-1,588	
Período Seco	-0,348		0,002	S-		-2,843	
Período Chuvoso	0,069		0,559	NS		0,481	
Total Anual	-0,189		0,103	NS		-2,72	
Teste de Pettitt							
Séries Históricas	K	<i>p-value</i> *	Significância Estatística**	Changing point	Ano Hidrológico correspondente ao ponto de mudança	M1***	M2****
OND	238	0,001	S-	10	1986-1987	704,09	582,5
JFM	198	0,01	S+	12	1988-1989	722,09	800,92
AMJ	236	0,001	S-	14	1990-1991	219	163,3
JAS	280	<0,0001	S-	15	1991-1992	109,09	75,58
Período Seco	308	<0,0001	S-	15	1991-1992	325,68	238
Período Chuvoso	116	0,297	NS	-	-	-	-
Total Anual	186	0,017	S-	10	1986-1987	1759	1629

Legenda: Itens em vermelho indicam que as séries históricas apresentaram tendência negativa com significância estatística para os testes realizados. Itens em verde indicam que as séries históricas apresentaram tendência positiva com significância estatística para os testes realizados. Intervalo de confiança considerado: 95% ($\alpha = 0,05$). **Para ter significância estatística, os testes devem apresentar $p\text{-value} < \alpha = 0,05$. S+: Tendência significativa positiva. S-: Tendência significativa negativa. NS: Nenhuma significância estatística. ***Média anterior ao ponto de mudança (changing point). ****Média posterior ao ponto de mudança.

Figura 6. Resultados dos testes de tendência da série histórica de precipitação do período outubro-novembro-dezembro (OND).

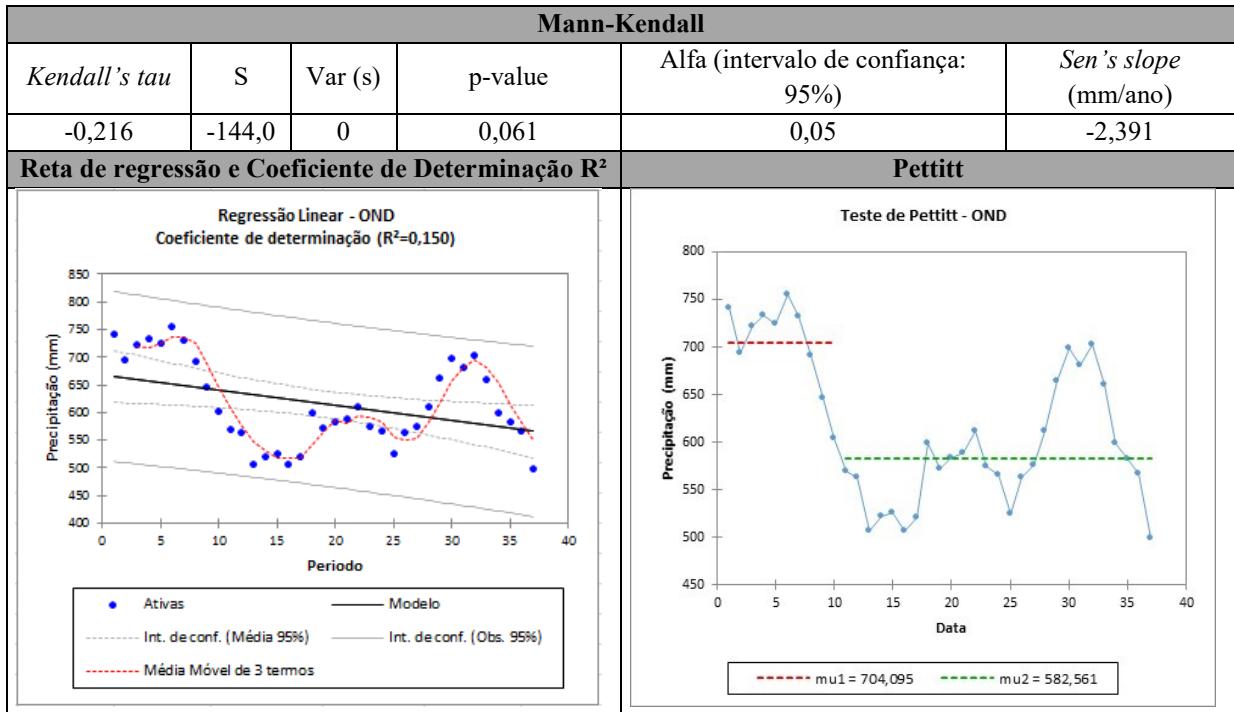


Figura 7. Resultados dos testes de tendência da série histórica de precipitação do período janeiro-fevereiro-março (JFM).

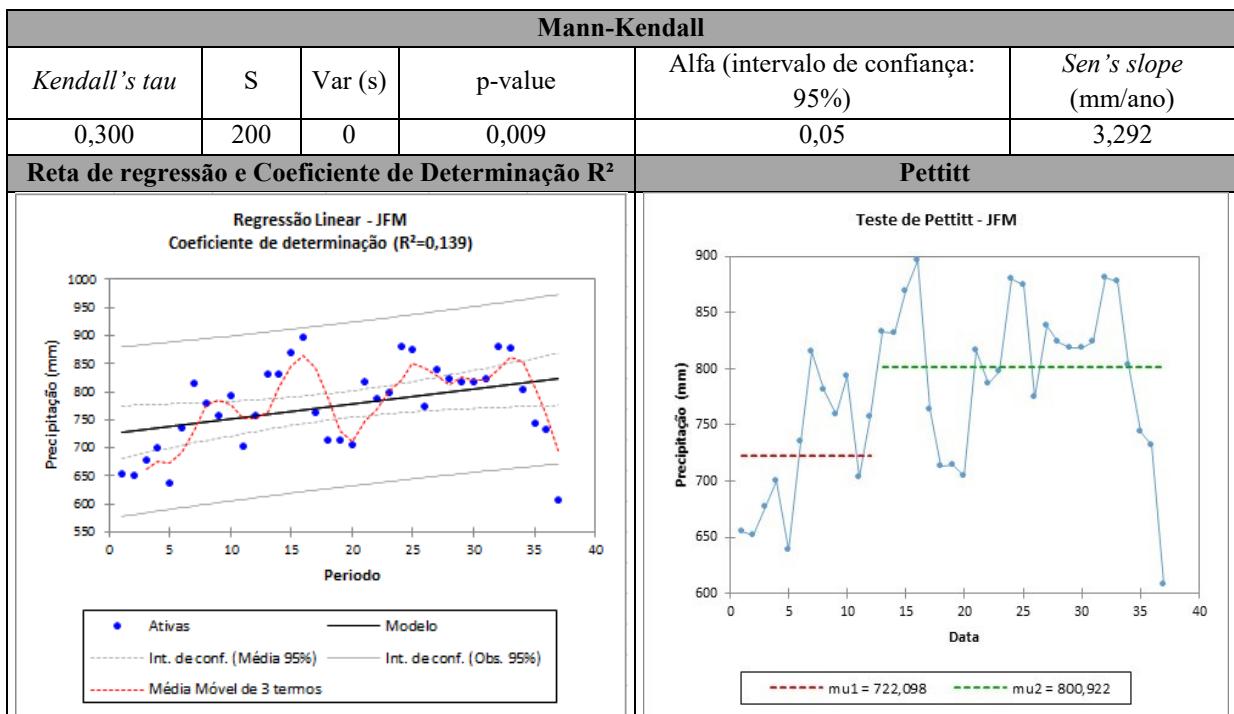


Figura 8. Resultados dos testes de tendência da série histórica de precipitação do período abril-maio-junho (AMJ).

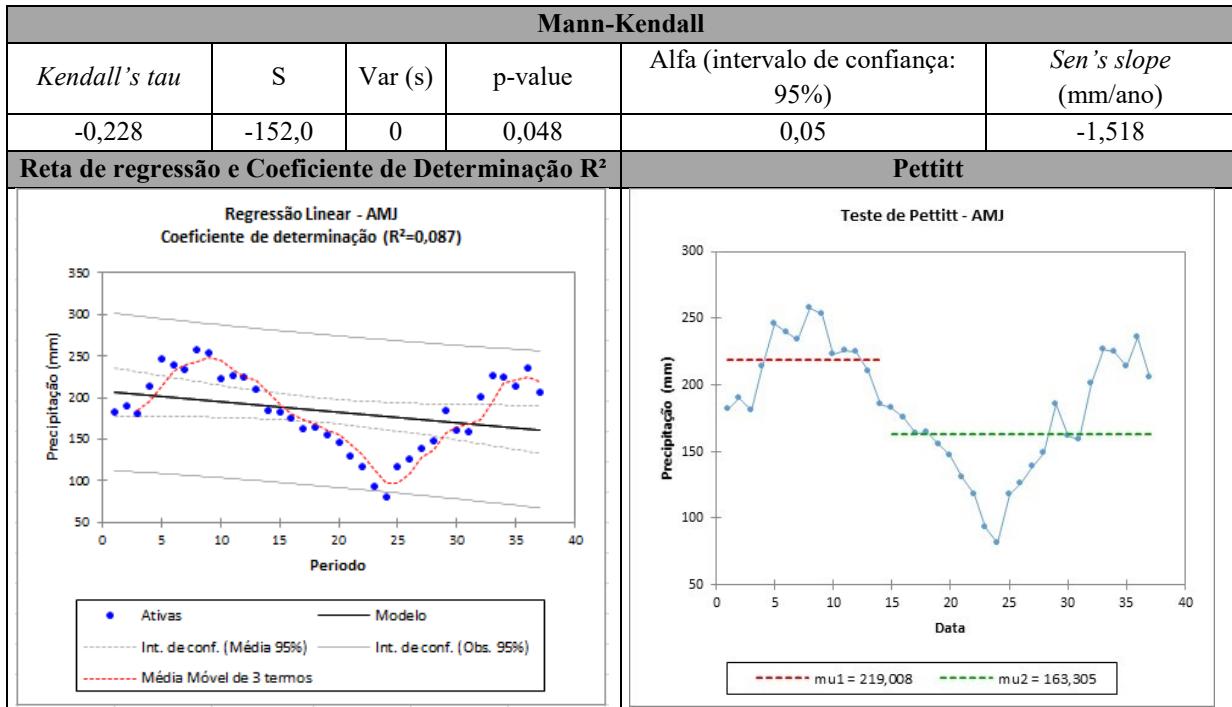


Figura 9. Resultados dos testes de tendência da série histórica de precipitação do período julho-agosto-setembro (JAS).

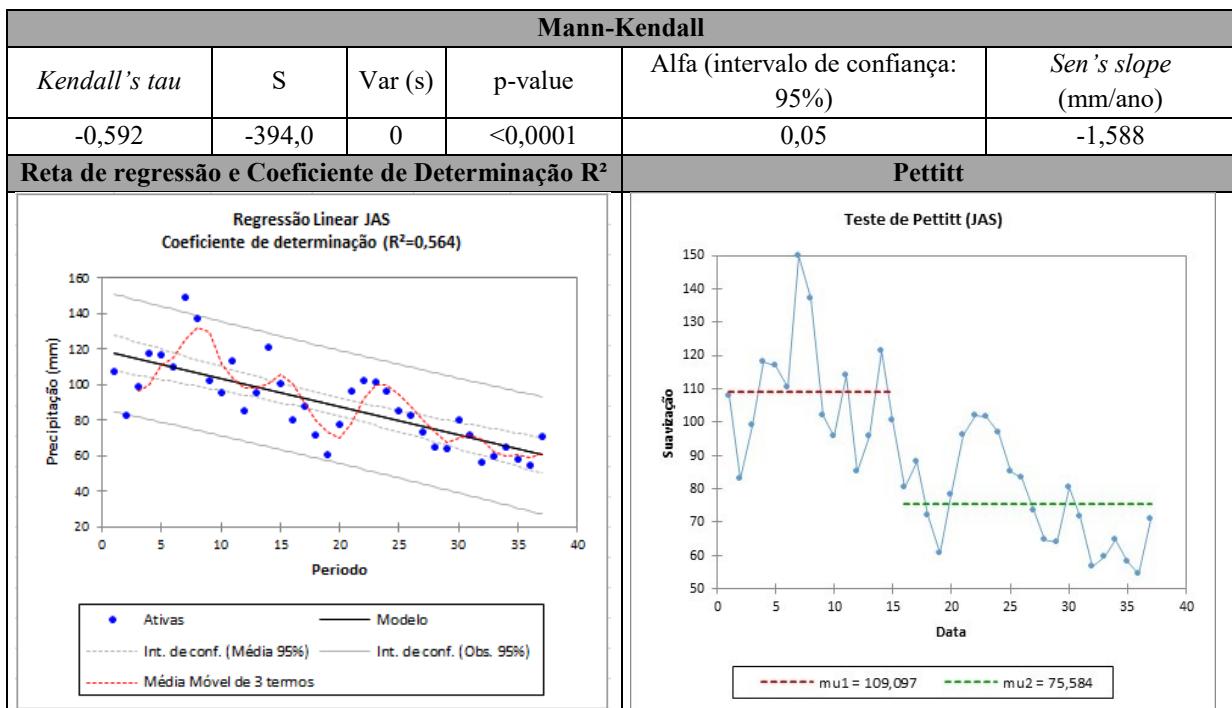


Figura 10. Resultados dos testes de tendência da série histórica de precipitação do período chuvoso.

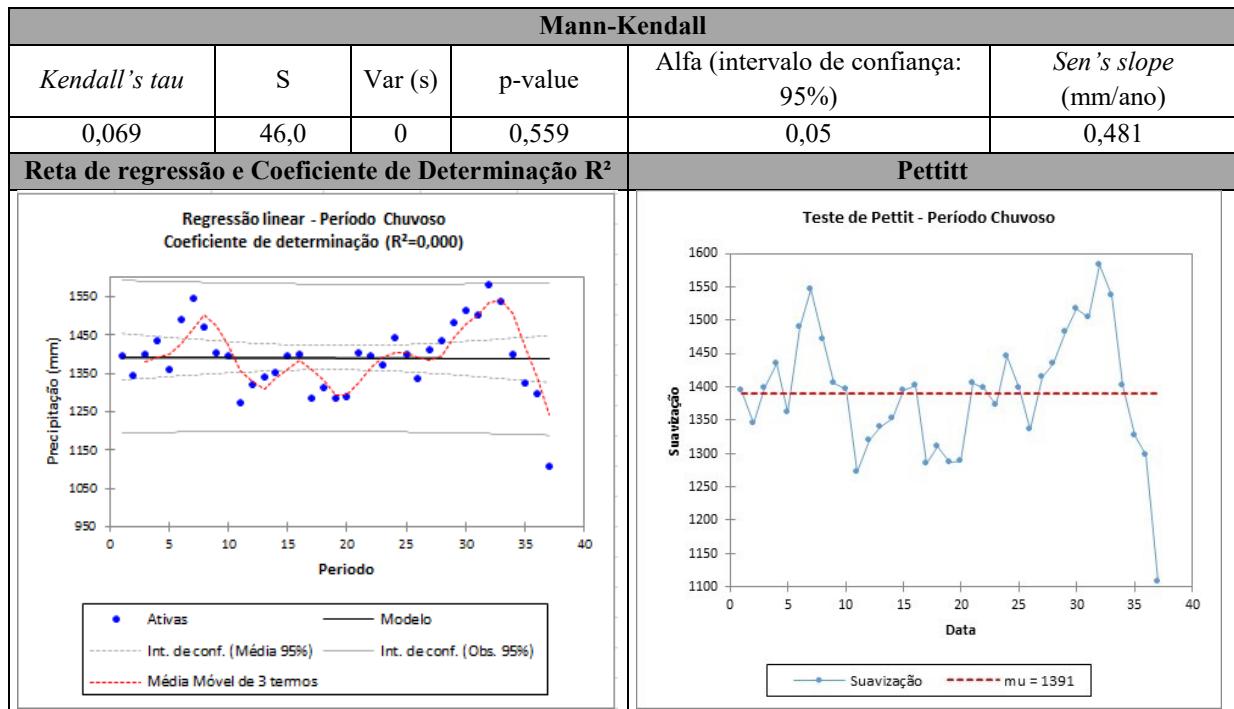


Figura 11. Resultados dos testes de tendência da série histórica de precipitação do período seco.

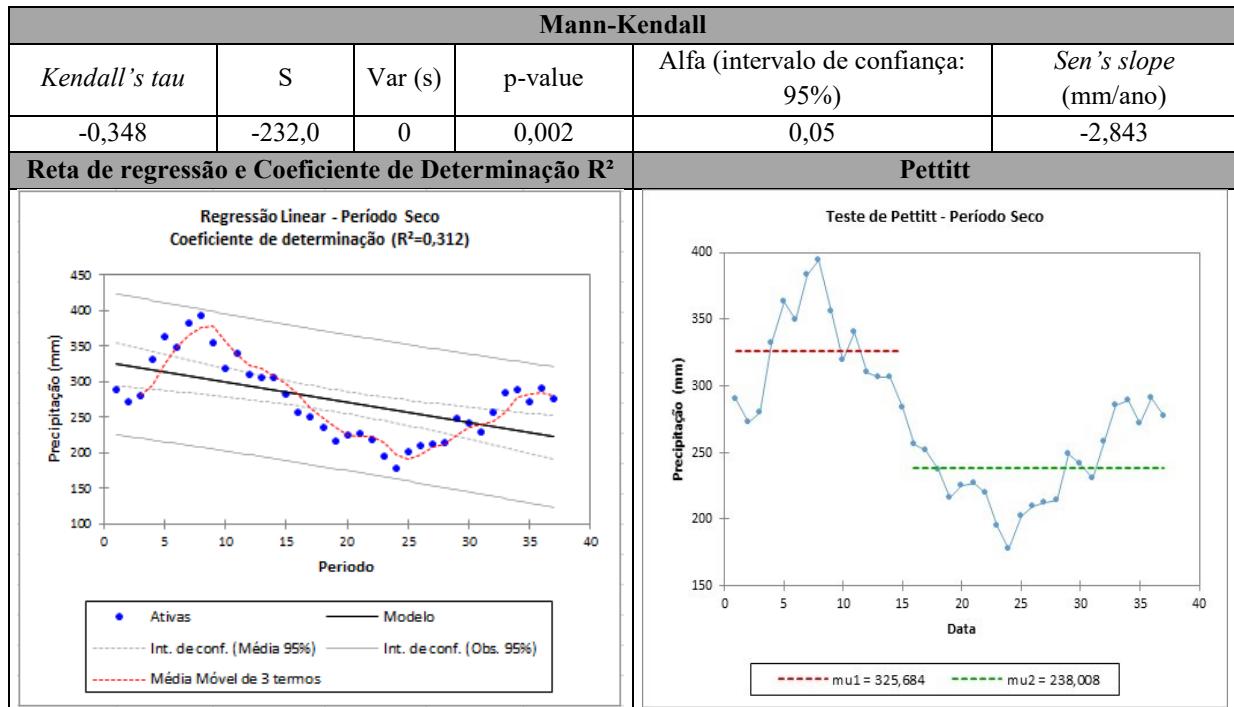
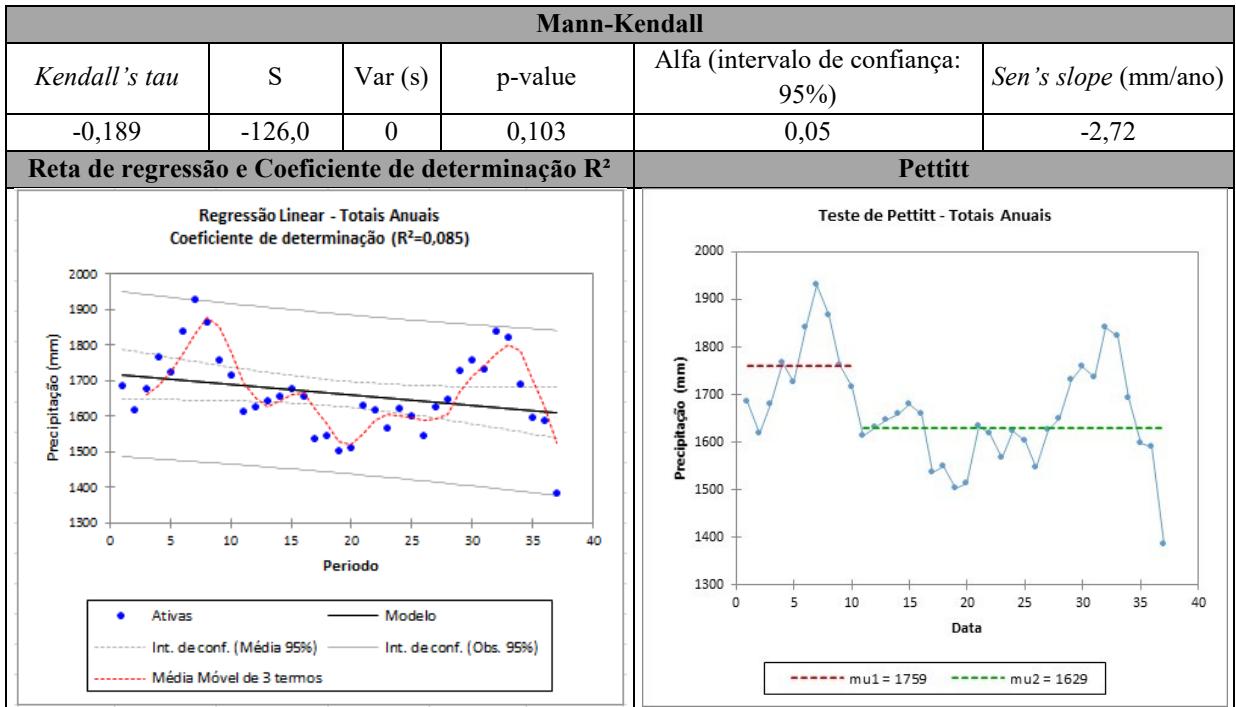


Figura 12. Resultados dos testes de tendência da série histórica de precipitação dos totais anuais de precipitação.



Pela análise da reta de regressão linear, percebe-se que apenas as precipitações ocorridas nos meses de janeiro-fevereiro-março (JFM) apresentam tendência de aumento. Em contrapartida, todas as outras séries históricas de precipitação apresentaram tendência de redução, com diferentes magnitudes. A série histórica que apresentou o maior coeficiente de determinação foi a referente ao período de julho-agosto-setembro (JAS), onde $r^2 = 0,564$. Tal resultado, mesmo sendo considerado razoável, indica que pouco mais de 56% das variações pluviométricas, em redução, estão relacionadas com o avanço do tempo.

O teste de Mann-Kendall, por sua vez, apresentou tendências significativas para as séries históricas dos períodos JFM (+ 0,3), AMJ (-0,228), JAS (-0,592) e período seco (-0,348). O resultado da Curvatura de Sen para o período JFM foi de 3,292 mm/ano. Para os períodos AMJ, JAS e período seco, os resultados da Curvatura de Sen foram de -1,518, -1,588 e -2,843 mm/ano, respectivamente.

O teste de homogeneidade de Pettitt apontou tendências na maioria das séries históricas de precipitação. O período OND apresentou tendência de queda, sendo que o ponto de mudança nas médias da série ocorreu no ano hidrológico 1986/1987. Neste ponto a média passou de 704,09 mm para 582,5 mm. A série histórica de precipitação do semestre JFM apresentou

tendência positiva para o teste de Pettitt. No ano hidrológico 1988/1989, no qual ocorreu o ponto de mudança, a média passou de 722,09 mm para 800,92 mm. Por sua vez, o trimestre AMJ apresentou tendência de queda na precipitação. No ano hidrológico 1990/1991, a média das precipitações passou de 219 mm para 163,3 mm. Ainda analisando as precipitações trimestrais, o período JAS apresentou tendência de queda nos índices pluviométricos para o teste de Pettitt. No trimestre JAS, as precipitações apresentaram tendência de queda, sendo que o ponto de mudança das médias ocorreu no ano hidrológico 1991/1992, quando a média das precipitações passou de 109,09 mm para 75,58 mm.

O teste de Pettitt também apontou tendência de redução das precipitações do período seco. O ponto de mudança das médias ocorreu no ano hidrológico 1991/1992, quando a média das chuvas passou de 325,68 mm para 238 mm. As precipitações acumuladas por ano (total anual), também apresentaram tendência de redução, com esta ocorrendo no ano hidrológico 1986/1987, quando a média das precipitações passou de 1759 mm para 1629 mm.

Em contrapartida, a única série histórica que o teste de Pettitt não apontou a existência de tendências foram as do período chuvoso, caracterizando-a como uma série temporal homogênea.

No quadro abaixo pode-se visualizar os resultados dos testes de tendência para todas as séries históricas pluviométricas testadas pelos testes de regressão linear, Mann-Kendall e Pettitt.

Quadro 5. Resultados dos testes de tendência para as séries históricas de precipitação.

Testes de tendência para as séries pluviométricas			
Séries Históricas	Regressão Linear (Coeficiente angular e R ²)	Mann-Kendall	Pettitt
OND	N-	N-	S-
JFM	N+	S+	S+
AMJ	N-	S-	S-
JAS	S-	S-	S-
Período Seco	S-	S-	S-
Período Chuvoso	N-	N+	N
Total Anual	N-	N-	S-

Legenda: **Itens em vermelho:** Série histórica não apresentou tendência com significância estatística. **Itens em verde:** Série histórica apresentou tendência com significância estatística. Significância estatística: p-value < $\alpha=0,05$. S+: Tendência positiva. S-: Tendência negativa. N: não existem argumentos suficientes para identificação de tendência. N+: Tendência positiva sem significância estatística. N-: Tendência negativa sem significância estatística.

De acordo com o quadro 5, percebe-se que as únicas séries históricas de precipitação que acusaram tendências com significância estatística para os testes de regressão linear, Mann-Kendall e Pettitt foram as séries do trimestre JAS e Período Seco, sendo que nos dois casos os testes de tendência apontaram que as ocorrências de chuva estão decaendo (tendência negativa). Em contrapartida, os dados apresentados pelo Período Chuvoso não acusaram tendência significativa, seja de redução ou de aumento, em todos os testes de tendências aqui utilizados. A série histórica dos totais anuais, apesar de apresentar tendência de redução em todos os testes utilizados, apresentou significância estatística apenas no teste de homogeneidade de Pettitt.

Análise exploratória das séries históricas de vazão

Tendências nas séries históricas de vazão (7, 15, 20, 30 e 45 dias de estiagem; Vazões máximas e mínimas mensais (toda a série histórica, períodos chuvosos e períodos secos)

Na tabela 7 pode-se visualizar os resultados dos testes de tendência executados nas séries históricas de vazões. Os testes utilizados foram os mesmos que as séries históricas de precipitação foram submetidos. Para identificar as mudanças no escoamento do rio Uberaba foram consideradas as séries históricas de vazões de 7, 15, 20, 30 e 45 dias de estiagem, as vazões máximas e mínimas mensais, e as vazões dos períodos chuvosos e períodos de estiagem, considerando o ano hidrológico como escala temporal: período chuvoso – outubro a março; período seco – abril a setembro. Logo após a tabela de sumarização, pode-se encontrar as análises de tendência de cada série histórica separadamente.

Tabela 7. Resultados dos testes de regressão linear simples, Mann-Kendall, Mann-Kendall Sazonal, Curvatura de Sen e Pettitt para as séries de vazão.

Teste Paramétrico					
Regressão Linear					
Séries Históricas	Coeficiente angular	r^2	Limite inferior Coef. Angular (95%)	Limite superior Coef. Angular (95%)	Variação na série
7 dias de estiagem	-0,0615	0,266	-0,102	-0,021	-1,7835
15 dias de estiagem	-0,0945	0,457	-0,135	-0,054	-2,7405
20 dias de estiagem	-0,0051	0,405	-0,082	-0,029	-0,1479
30 dias de estiagem	-0,0419	0,204	-0,075	-0,009	-1,2151
45 dias de estiagem	-0,0667	0,439	-0,096	-0,037	-1,9343
Período Chuvisco (Máx. Mensais)	0,1308	0,072	0,032	0,096	53,3664
Período Chuvisco (Min. Mensais)	-0,014	0,052	-0,012	-0,003	-5,712
Período Seco (Máx Mensais)	0,0794	0,071	0,040	0,119	32,3952
Período Seco (Min. Mensais)	-0,0054	0,011	-0,013	0,002	-2,2032
Vazões Máx. Mensais	0,0493	0,045	0,027	0,072	20,1144
Vazões Min. Mensais	-0,0051	0,028	-0,008	-0,002	-2,0808
Testes não-paramétricos					
Mann-Kendall					
Séries Históricas	Kendall's Tau	$p\text{-value}^*$	Significância Estatística**		Curvatura de Sen
7 dias de estiagem	-0,325	0,013	S-		-0,063
15 dias de estiagem	-0,433	0,001	S-		-0,088
20 dias de estiagem	-0,412	0,002	S-		-0,057
30 dias de estiagem	-0,325	0,013	S-		-0,049
45 dias de estiagem	-0,365	0,005	S-		-0,068
Período Chuvisco (Máx. Mensais)	0,191	< 0,0001	S+		0,144
Período Chuvisco (Min. Mensais)	-0,115	0,015	S-		-0,011
Período Seco (Máx Mensais)	0,185	< 0,0001	S+		0,047
Período Seco (Min. Mensais)	-0,082	0,083	NS		-0,005
Vazões Máx. Mensais	0,144	< 0,0001	S+		0,038
Vazões Min. Mensais	-0,103	0,002	S-		-0,004
Mann-Kendall Sazonal					
Séries Históricas	Kendall's Tau	$p\text{-value}^*$	Significância Estatística**		Curvatura de Sen
Período Chuvisco (Máx. Mensais)	0,214	< 0,0001	S+		1,024
Período Chuvisco (Min. Mensais)	-0,232	< 0,0001	S-		-0,075
Período Seco (Máx. Mensais)	0,299	< 0,0001	S+		0,309
Período Seco (Min. Mensais)	-0,076	0,123	NS		-0,015
Vazões Máx. Mensais	0,257	< 0,0001	S+		0,558
Vazões Min. Mensais	-0,154	< 0,0001	S-		-0,027

Teste de Pettitt								
Séries Históricas	K	p-value*	Significância Estatística**	Changing point	Ano Hidrológico correspondente ao ponto de mudança	M1***	M2****	
7 dias de estiagem	142	0,003	S-	7	1983-1984	7,914	6,182	
15 dias de estiagem	176	< 0,0001	S-	9	1985-1986	7,425	5,296	
20 dias de estiagem	144	0,004	S-	7	1983-1984	6,198	4,901	
30 dias de estiagem	132	0,015	S-	9	1985-1986	5,166	4,184	
45 dias de estiagem	174	< 0,0001	S-	9	1985-1986	4,403	2,845	
Período Chuvoso (Máx. Mensais)	5393	< 0,0001	S+	121	01/10/1996	41,053	65,63	
Período Chuvoso (Mín. Mensais)	2760	0,007	S-	144	01/03/2000	7,56	5,36	
Período Seco (Máx Mensais)	4251	< 0,0001	S+	137	01/08/1999	17,87	30,57	
Período Seco (Min. mensais)	2081	0,078	NS	-	-	-	-	
Vazões Máx. Mensais	15148	< 0,0001	S+	276	01/09/1999	30,03	50,18	
Vazões Min. Mensais	8947	0,001	S-	285	01/06/2000	6,317	4,679	

Legenda: **Itens em vermelho** indicam que as séries históricas apresentaram tendência negativa com significância estatística para os testes realizados. **Itens em verde** indicam que as séries históricas apresentaram tendência positiva com significância estatística para os testes realizados. Intervalo de confiança considerado: 95% ($\alpha = 0,05$). **Para ter significância estatística, os testes devem apresentar p-value $< \alpha = 0,05$. S+: Tendência significativa positiva. S-: Tendência significativa negativa. NS: Nenhuma significância estatística. ***Média anterior ao ponto de mudança (changing point). ****Média posterior ao ponto de mudança.

Figura 13. Resultados dos testes de tendência da série histórica de vazão de 7 dias de estiagem.

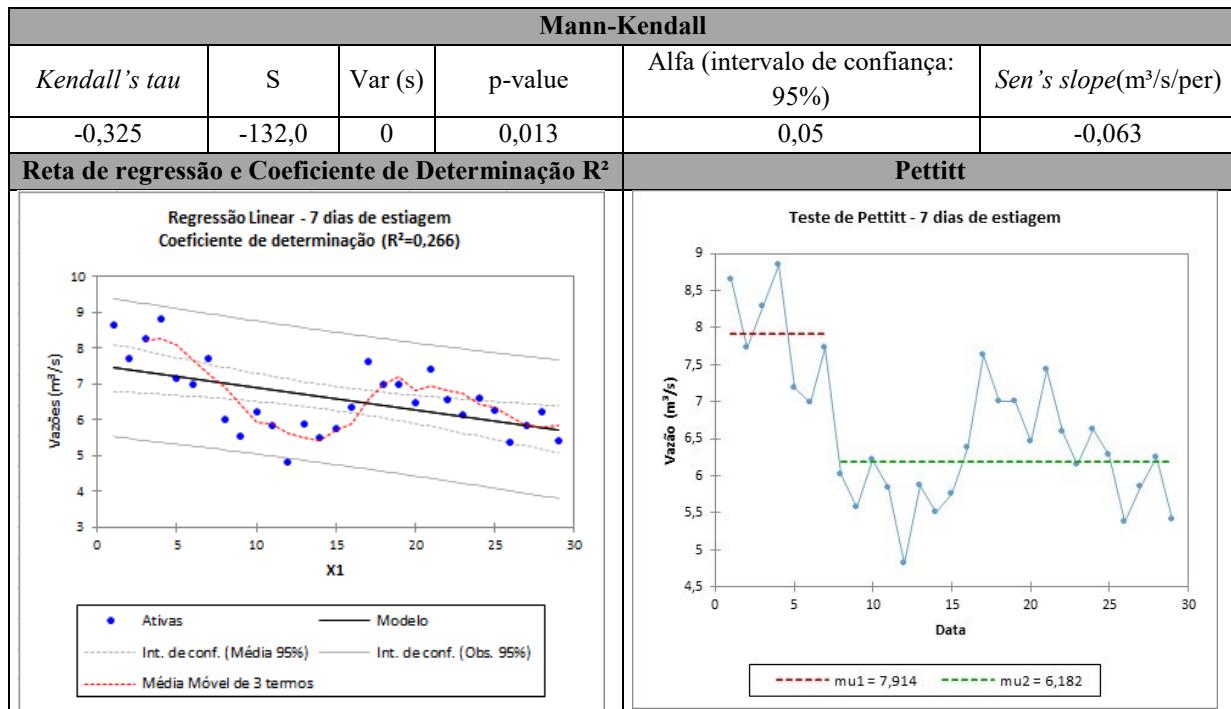


Figura 14. Resultados dos testes de tendência da série histórica de vazão de 15 dias de estiagem.

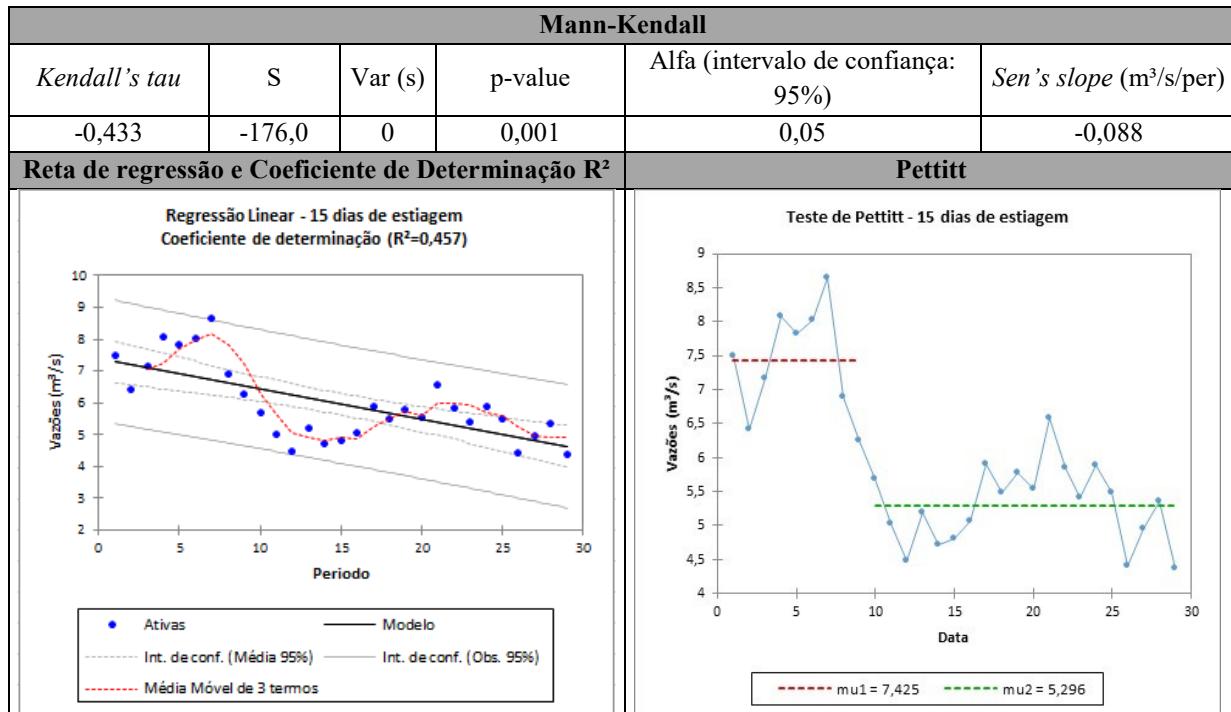


Figura 15. Resultados dos testes de tendência da série histórica de vazão de 20 dias de estiagem.

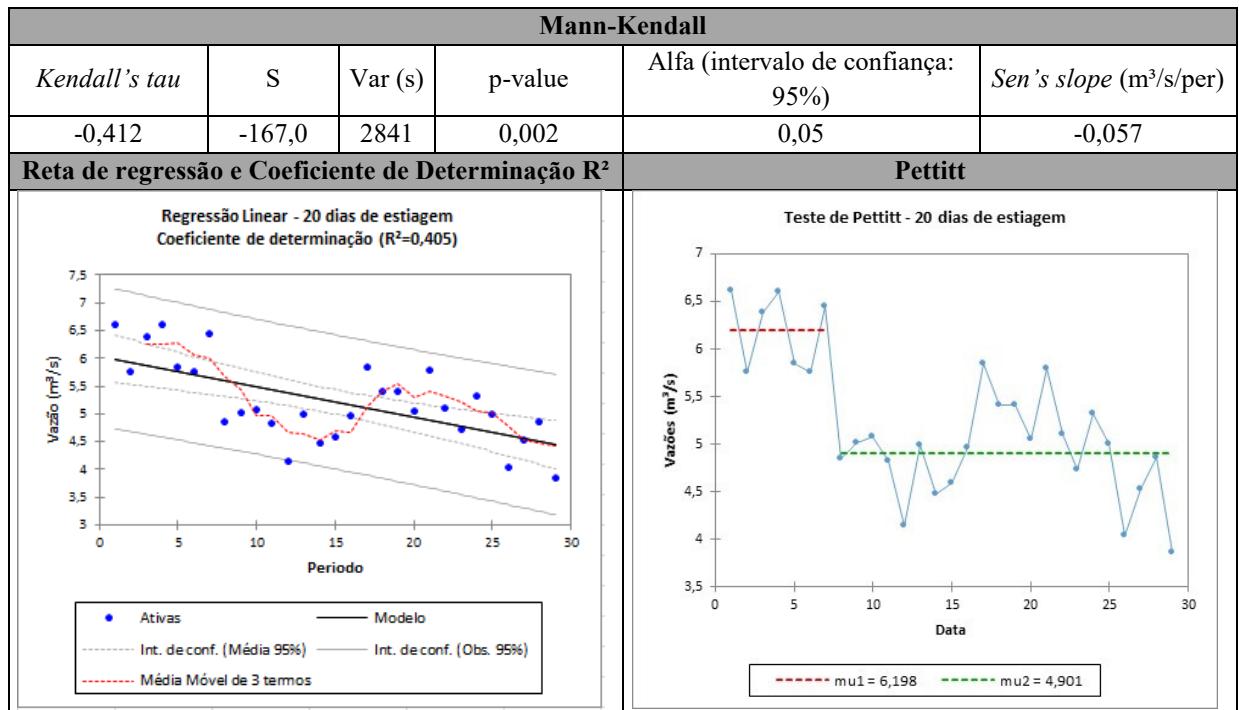


Figura 16. Resultados dos testes de tendência da série histórica de vazão de 30 dias de estiagem.

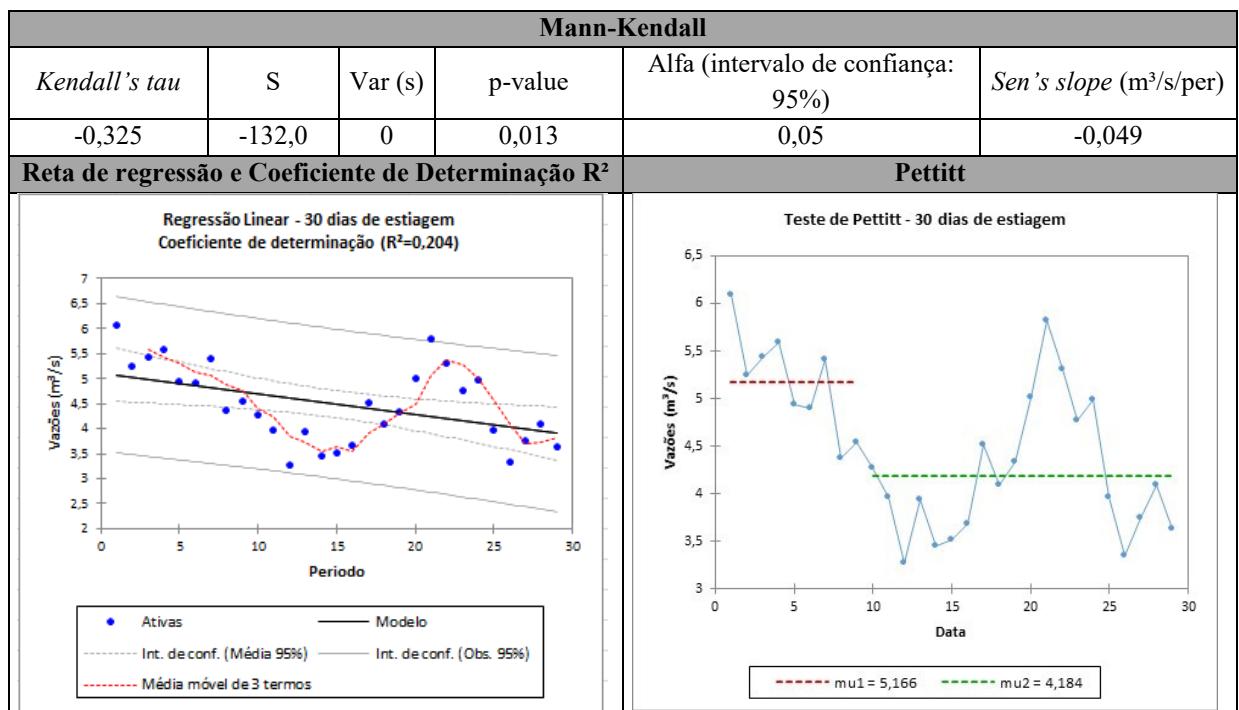


Figura 17. Resultados dos testes de tendência da série histórica de vazão de 45 dias de estiagem.

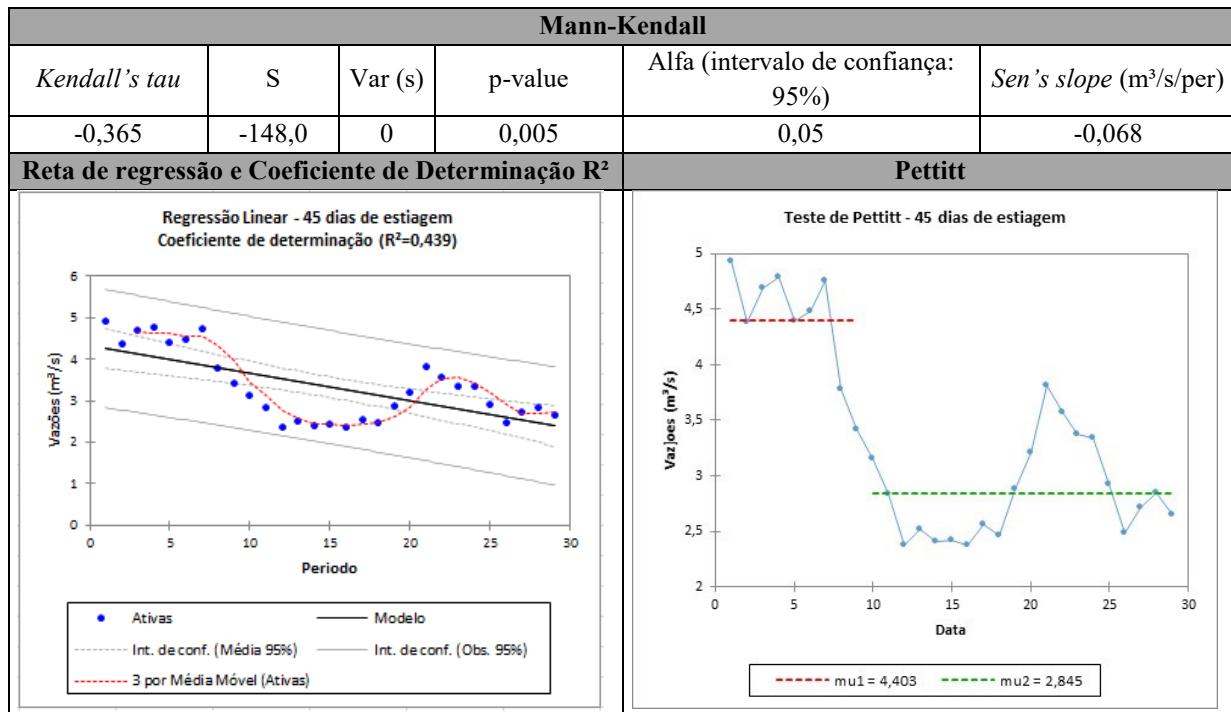


Figura 18. Resultados dos testes de tendência da série histórica das vazões máximas mensais do período chuvoso.

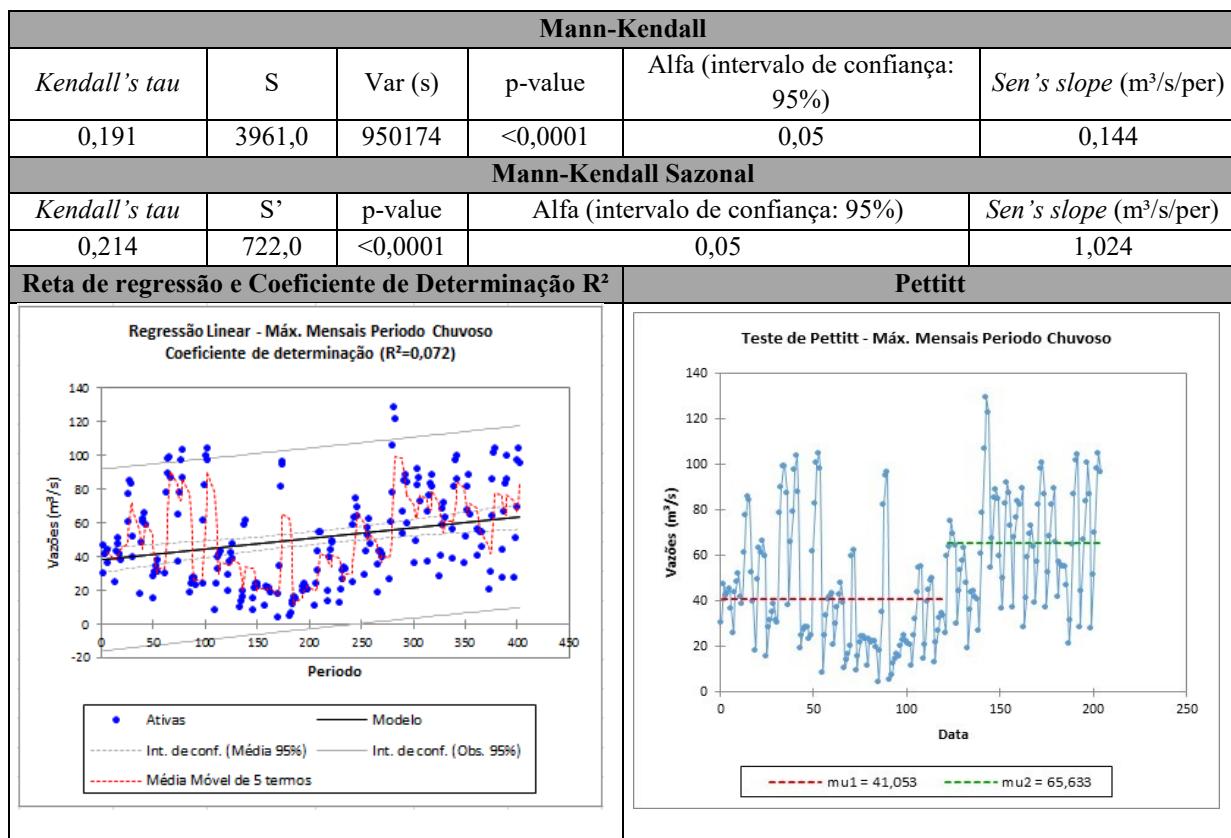


Figura 19. Resultados dos testes de tendência da série histórica das vazões mínimas mensais do período chuvoso.

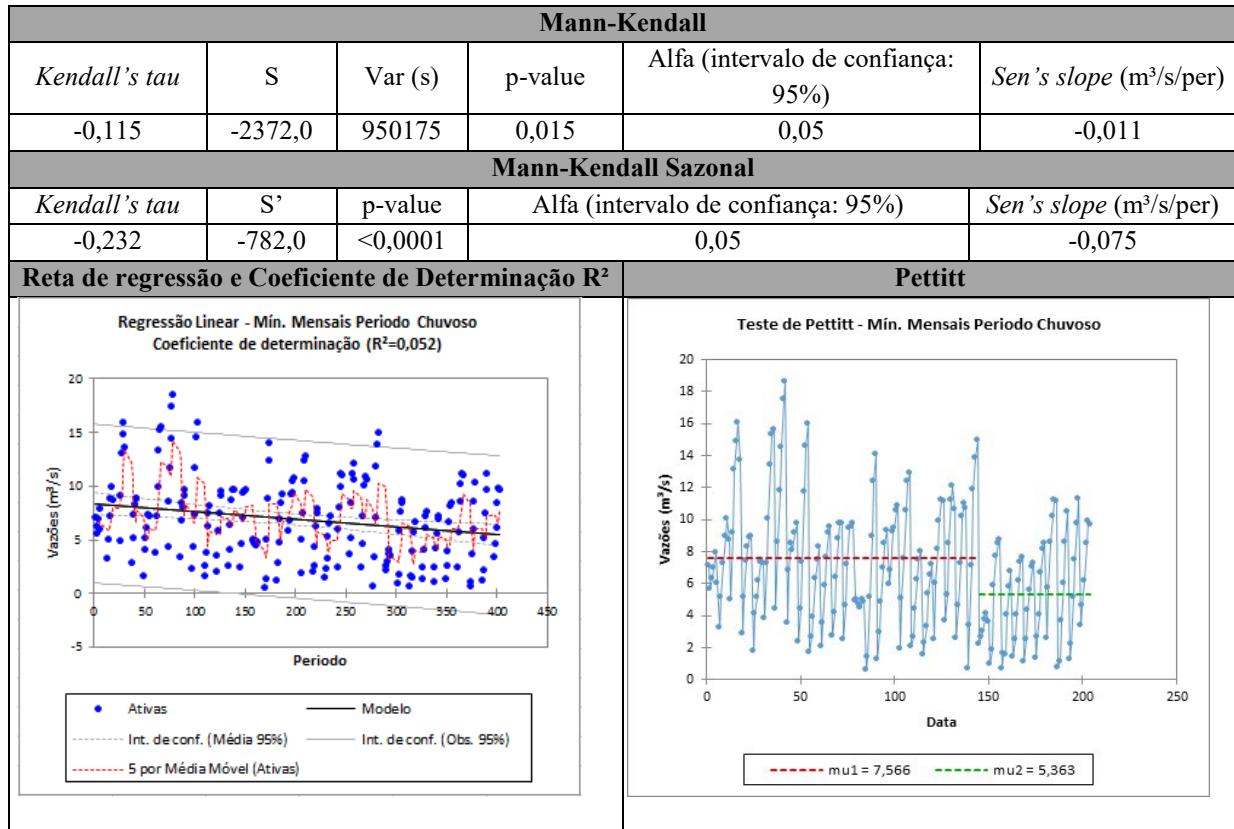


Figura 20. Resultados dos testes de tendência da série histórica das vazões máximas mensais do período seco.

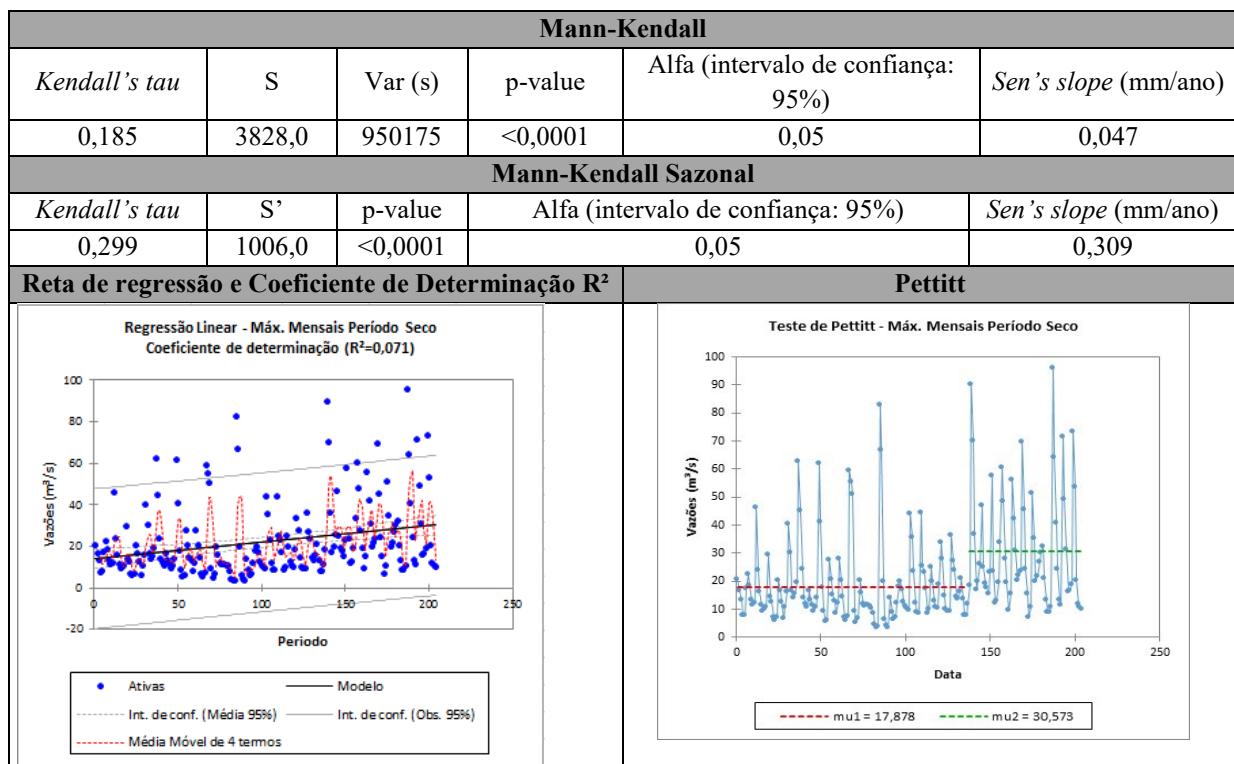


Figura 21. Resultados dos testes de tendência da série histórica das vazões mínimas mensais do período seco.

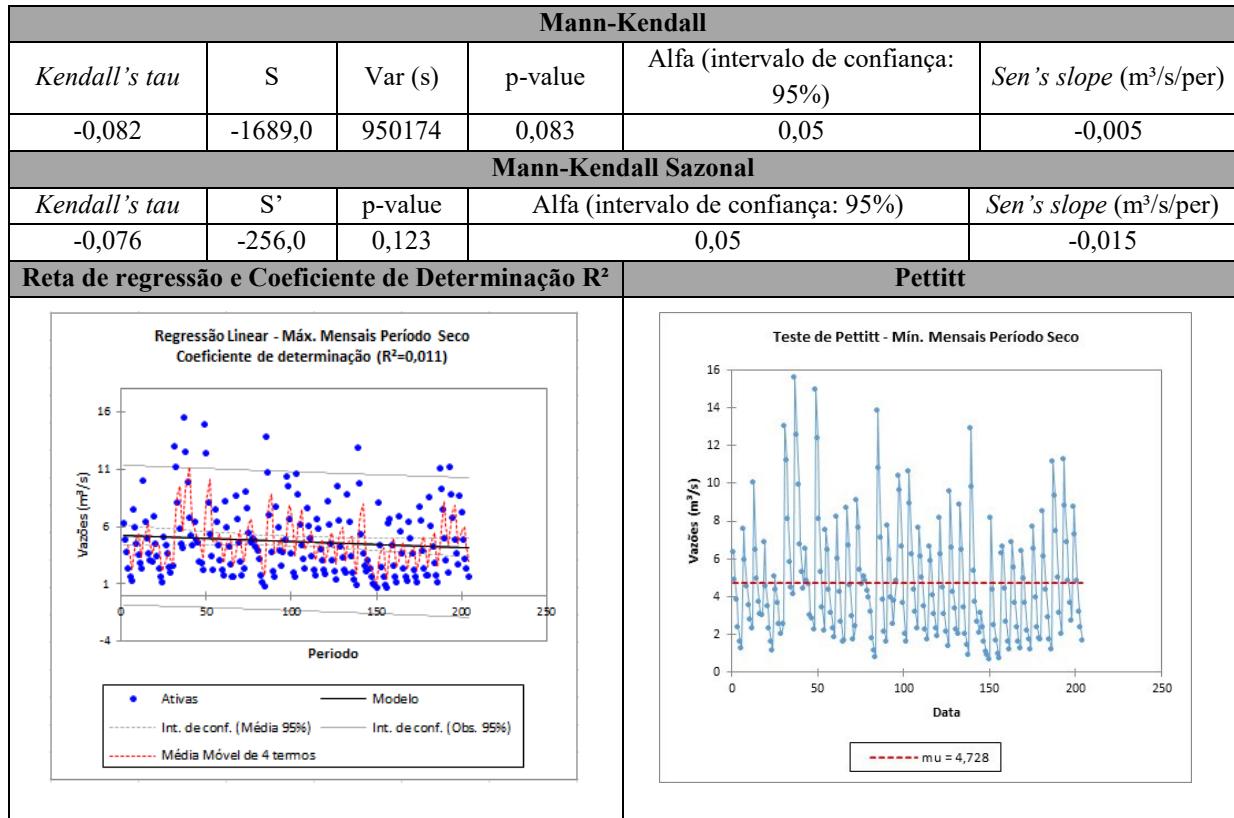


Figura 22. Resultados dos testes de tendência da série histórica das vazões mínimas mensais para toda a série histórica.

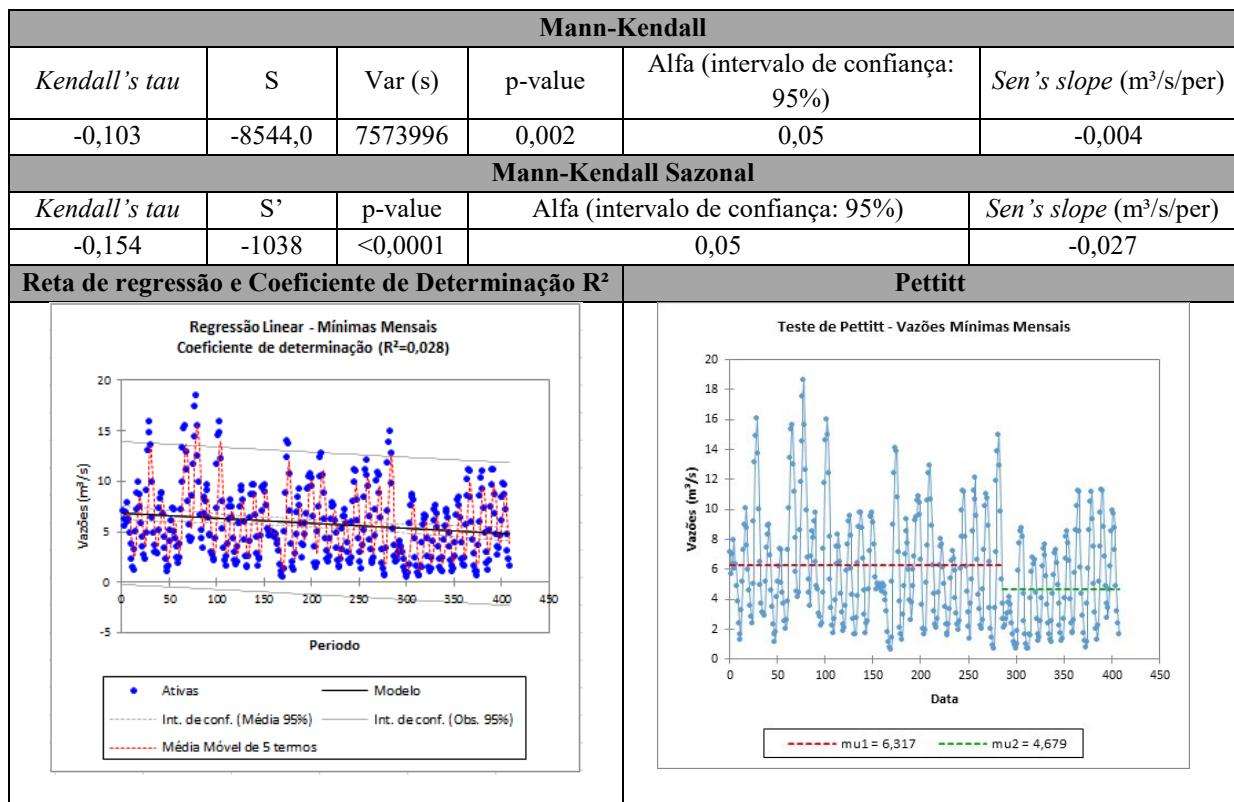
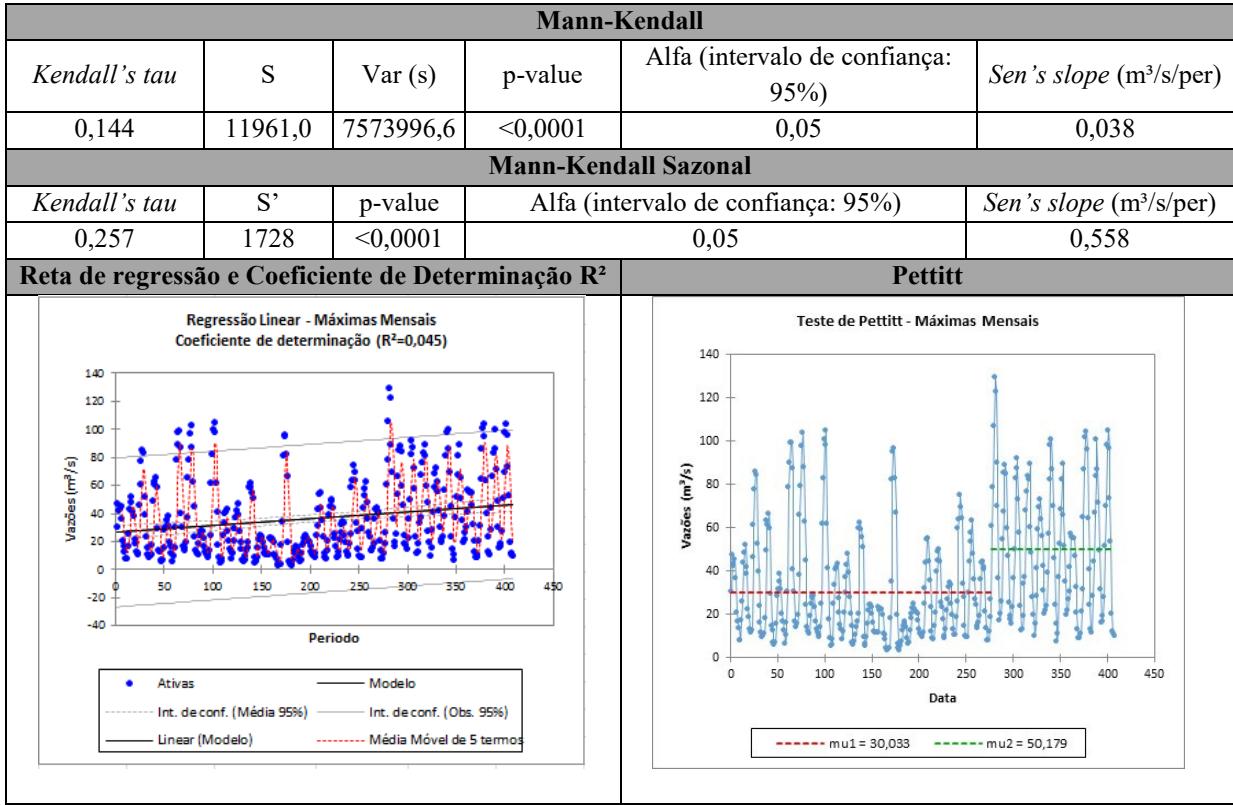


Figura 23. Resultados dos testes de tendência da série histórica das vazões máximas mensais para toda a série histórica.



De acordo com os resultados dos testes de tendências realizados para a detecção de alterações nas séries históricas de vazão, percebe-se que para o teste de regressão linear as séries históricas de 7, 15, 20, 30 e 45 dias de estiagem, mínimas mensais do período chuvoso, mínimas mensais do período seco e mínimas mensais do período completo apresentaram tendência de redução. Todavia, os coeficientes de determinação r^2 mais significativos foram os apresentados pelas séries de 15 dias, 20 dias e 45 dias de estiagem ($r^2 = 0,457, 0,405$ e $0,439$, respectivamente).

O teste de Mann-Kendall, por sua vez, acusou tendências com significância estatística em quase todas as séries históricas, sendo que a exceção foram as vazões mínimas mensais dos períodos secos. As séries históricas das vazões de 7, 15, 20, 30 e 45 dias de estiagem, as máximas e mínimas mensais do período chuvoso, as máximas mensais do período seco e as vazões máximas e mínimas mensais para toda a série histórica apresentaram um *kendall's tau* de $-0,325, -0,433, -0,412, -0,325, -0,365, 0,191, -0,115, 0,185, 0,144, -0,103$, respectivamente.

Por sua vez, o teste de Mann-Kendall Sazonal correspondeu ao teste de Mann-Kendall normal, porém cedeu escores mais intensos para as séries históricas das vazões máximas e mínimas mensais do período chuvoso, máximas mensais do período seco, vazões máximas e mínimas mensais da série histórica completa (*kendall's tau* = 0,214, -0,232, 0,299, 0,257, -0,154).

Por último, o teste de Pettitt, acusou pontos de quebra brusca nas séries históricas de vazões de 7, 15, 20, 30 e 45 dias de estiagem, máximas e mínimas mensais do período chuvoso, máximas mensais do período seco, e vazões máximas e mínimas para toda a série histórica. As vazões de 7, 15, 20, 30 e 45 dias estiagem apresentaram tendência de queda, sendo que o *changing point* para essas séries ocorrem nos anos hidrológicos de 1983/1984 (7 e 20 dias de estiagem) e 1985/1986 (15, 30 e 45 dias de estiagem). Nas séries históricas dos períodos chuvosos, as vazões máximas mensais apresentaram aumento em suas médias, com o ponto de mudança no período correspondente a outubro de 1996, quando as médias passaram de 41,05 m³/s para 65,63 m³/s. Por sua vez, a série histórica que considerou as vazões mínimas mensais dos períodos chuvosos apresentou ligeira queda em suas médias, sendo que o ponto de mudança ocorreu ao período correspondente a março do ano 2000. Neste caso, as médias de vazão passaram de 7,56 m³/s para 5,36 m³/s. O teste de Pettitt, quando aplicado à série histórica das vazões máximas mensais dos períodos secos, apresentou tendência de aumento. Em agosto de 1999 foi acusado um aumento nas médias, sendo este o ponto de mudança nos índices de vazão. Neste caso, a média das vazões passou de 17,87 m³/s para 30,57 m³/s. Por último, quando as séries históricas completas de vazão foram submetidas ao teste de Pettitt, percebeu-se um aumento das vazões máximas mensais, com ponto de mudança brusca em setembro de 1999 (a média das vazões passou de 30,03 m³/s para 50,18 m³/s) e diminuição das vazões mínimas mensais, quando a média passou de 6,317 m³/s para 4,679 m³/s.

No quadro 6, se encontra os resultados dos testes de tendências para todas as séries históricas de vazão, submetidas no teste de regressão linear, Mann-Kendall, Mann-Kendall Sazonal e Pettitt.

Quadro 6. Resultados dos testes de tendência para as séries históricas de vazão.

Testes de tendência para as séries históricas de vazão				
Séries históricas	Regressão Linear	Mann-Kendall	Mann-Kendall sazonal	Pettitt
7 dias de estiagem	N-	S-	-	S-
15 dias de estiagem	S-	S-	-	S-
20 dias de estiagem	S-	S-	-	S-
30 dias de estiagem	N-	S-	-	S-
45 dias de estiagem	S-	S-	-	S-
Período Chuvoso (Máx. Mensais)	N+	S+	S+	S+
Período Chuvoso (Mín. Mensais)	N-	S-	S-	S-
Período Seco (Máx. Mensais)	N+	S+	S+	S+
Período Seco (Mín. Mensais)	N-	N-	N-	N-
Vazões Máx. Mensais	N+	S+	S+	S+
Vazões Mín. Mensais	N-	S-	S-	S-

Legenda: **Itens em vermelho:** Série histórica não apresentou tendência com significância estatística. **Itens em verde:** Série histórica apresentou tendência com significância estatística. **Itens em azul:** Série histórica não foi submetida ao referido teste. Significância estatística: $p\text{-value} < \alpha=0,05$. S+: Tendência positiva. S-: Tendência negativa. N: não existem argumentos suficientes para identificação de tendência. N+: Tendência positiva sem significância estatística. N-: Tendência negativa sem significância estatística.

De acordo com os resultados apresentados, nota-se que as vazões de 15, 20 e 45 dias de estiagem apresentaram tendência de redução para os testes de regressão linear, Mann-Kendall e Pettitt. Apesar de não apresentarem significância estatística para o teste de regressão linear, as vazões de 7 e 30 dias de estiagem, também parecem que sofreram diminuição de seus índices no intervalo considerado. As vazões máximas mensais dos períodos secos, períodos chuvosos e dos anos completos não apresentaram significância estatística para o teste de regressão linear, porém, para os testes de Mann-Kendall, Mann-Kendall sazonal e Pettitt, apresentaram tendência de aumento. Por sua vez, as vazões mínimas mensais dos períodos secos, chuvosos e dos anos completos apresentaram tendência de redução para os testes não-paramétricos de Mann-Kendall, Mann-Kendall sazonal e Pettitt, porém não apresentaram tendência com significância estatística para o teste de regressão linear.

5.1.2. Uso e ocupação das terras no alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba

Os resultados relativos ao uso e ocupação das terras foram obtidos através de pesquisa bibliográfica, identificação das áreas agrícolas utilizando o Índice da Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI, além da interpretação visual dos dados obtidos por sensores dos satélites da série *Landsat 5* e *Landsat 8* da área de estudo.

Na pesquisa bibliográfica realizada, foram encontrados estudos que abrangem a bacia do rio Uberaba como um todo (CRUZ, 2003) e especificamente o alto curso da bacia do rio Uberaba (ABDALA, 2005). Além disso, utilizou-se as bases cartográficas disponibilizadas pelo Projeto TerraClass (2015) para um conhecimento quantitativo mais atual dos usos e ocupação das terras na área de estudo. O projeto citado, idealizado pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA, mapeou e classificou o uso e ocupação das terras no âmbito do Cerrado Brasileiro com imagens do satélite *Landsat 8* do ano de 2013.

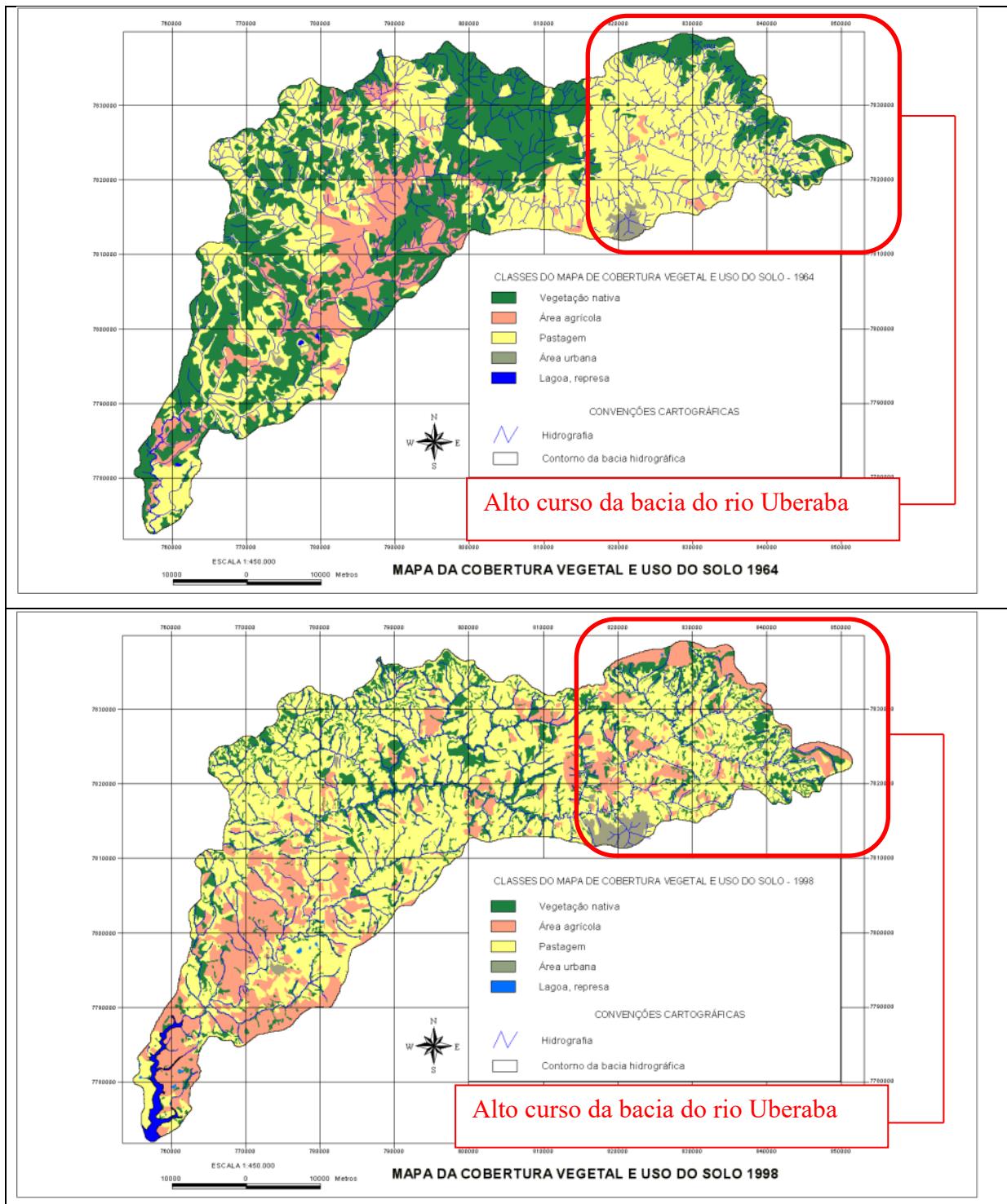
O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI foi utilizado para a visualização da evolução das áreas de agricultura entre os anos de 1988 e 2014. Tais datas foram escolhidas pois foram as que apresentaram melhores imagens de satélite na época de ápice das safras (período chuvoso), com menor quantidade de cobertura de nuvens na área de estudo, possibilitando assim, a identificação das áreas de agricultura no período citado.

Para o conhecimento dos aspectos qualitativos, no que concerne ao uso das terras na área de estudo ao longo das últimas décadas, utilizou-se imagens dos satélites *Landsat 5*, dos anos de 1985, 1995 e 2005 e do satélite *Landsat 8*, do ano de 2015. Acredita-se que a análise quantitativa dos padrões de uso das terras, através das denominadas classificações de uso das terras seja de suma importância para qualquer estudo geográfico, porém na oportunidade deste trabalho será realizada apenas uma interpretação visual das composições coloridas das cenas dos anos citados, instigando futuras pesquisas a abordar o tema mais detalhadamente.

A evolução do uso e ocupação das terras na bacia do rio Uberaba

Cruz (2003) classificou o uso e ocupação das terras na bacia hidrográfica do rio Uberaba (2346 km² de área) em dois períodos (1964 e 1998) e chegou aos seguintes resultados (Mapa 9 e Tabela 8):

Mapa 9. Mapas de uso e ocupação das terras nos anos de 1964 e 1998.



Fonte: Cruz (2003)

Tabela 8. Evolução do uso das terras na bacia hidrográfica do rio Uberaba.

Uso e ocupação das terras na bacia do rio Uberaba nos anos de 1964 e 1998		
Classes	1964	1998
Vegetação Nativa	41%	19,7%

Pastagens	46,8%	58,5%
Áreas Agrícolas	11,3%	19,6%
Malha Urbana	1,0%	1,4%
Lagoas/Represas	<1%	<1%

Fonte: Cruz (2003)

Percebe-se que no período considerado por Cruz (2003), houve redução significativa das áreas de vegetação nativa (41% em 1964 para 19,7% em 1998). Em contrapartida, percebe-se um aumento das áreas de pastagens, paisagem dominante em 1964 e 1998 (46,8% e 58,5%, respectivamente). As áreas agrícolas também foram mais inseridas na paisagem do rio Uberaba, passando de 11,3% para 19,6%. Na espacialização das informações de uso das terras através dos mapas apresentados, percebe-se que a dinâmica da evolução do uso das terras no alto curso da bacia do rio Uberaba acompanha a evolução da ocupação na bacia como um todo. A figura anterior apresenta os mapas confeccionados por Cruz (2003), enfatizando em vermelho, o alto curso da bacia do rio Uberaba, nos dois períodos considerados.

De acordo com os estudos de Cruz (2003) fica claro o quanto a vegetação nativa localizada no alto curso do rio Uberaba, foi suprimida para a inserção de atividades agropecuárias. Outra clara modificação dos padrões de uso das terras foi a substituição das pastagens para o implemento de culturas agrícolas. Além disso, é notável o aumento da malha urbana do município de Uberaba.

Cruz (2003) destaca a evolução do uso e ocupação das terras e suas devidas substituições. Tal evolução pode ser vista no mapa 10 e na tabela 9.

Mapa 10. Mapa de evolução de uso e ocupação das terras entre 1964 e 1998.

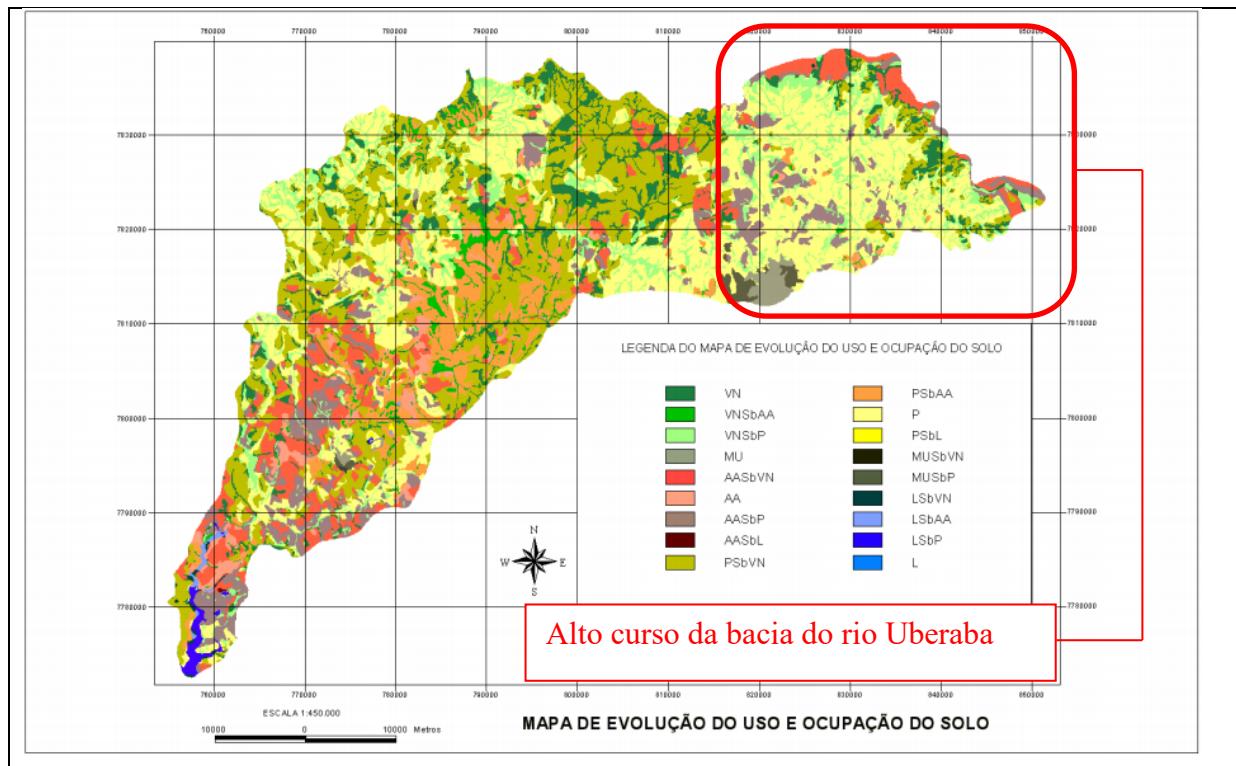


Tabela 9. Detalhamento da legenda da figura 47.

Tipo de Ocupação	Área (km ²)	% da área
VN – Vegetação Nativa	187,6	8,07
VNsBAA – Vegetação Nativa substituindo Área Agrícola	47,5	2,04
VNsBP – Vegetação Nativa substituindo Pastagem	225,1	9,68
AA – Área Agrícola	48,7	2,09
AAsbVN – Área Agrícola substituindo Vegetação Nativa	209,5	9,01
AAsbP – Área agrícola substituindo Pastagem	196,1	8,43
AAsbL – Área agrícola substituindo lagoas	0,3	0,01
P – Pastagem	652,3	28,05
PsbVN – Pastagem substituindo Vegetação Nativa	535,4	23,02
PsbAA – Pastagem substituindo Áreas agrícolas	168,5	7,25
PsbL – Pastagem substituindo	0,8	0,03

Lagoas		
MU – Malha Urbana	19,5	0,84
MUsbVN – Malha Urbana substituindo Vegetação Nativa	1,0	0,04
MUsbP – Malha Urbana substituindo Pastagem	15,0	0,65
L - Lagoas	0,1	0,00
LsbVN – Lagoas substituindo Vegetação Nativa	3,1	0,13
LsbP – Lagoas substituindo Pastagens	10,5	0,45
LsbAA – Lagoas substituindo Áreas Agrícolas	4,4	0,19

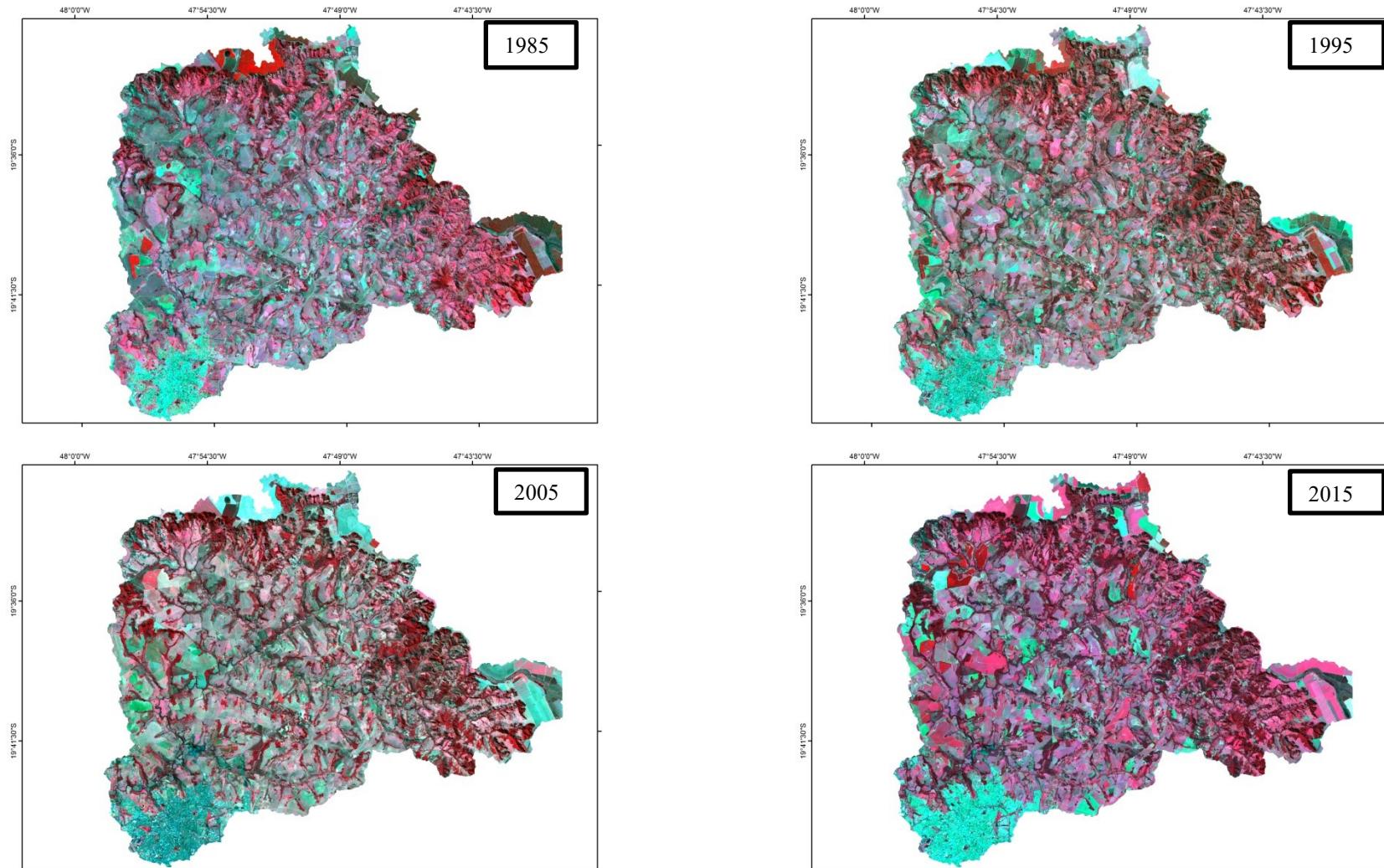
Fonte: Cruz (2003)

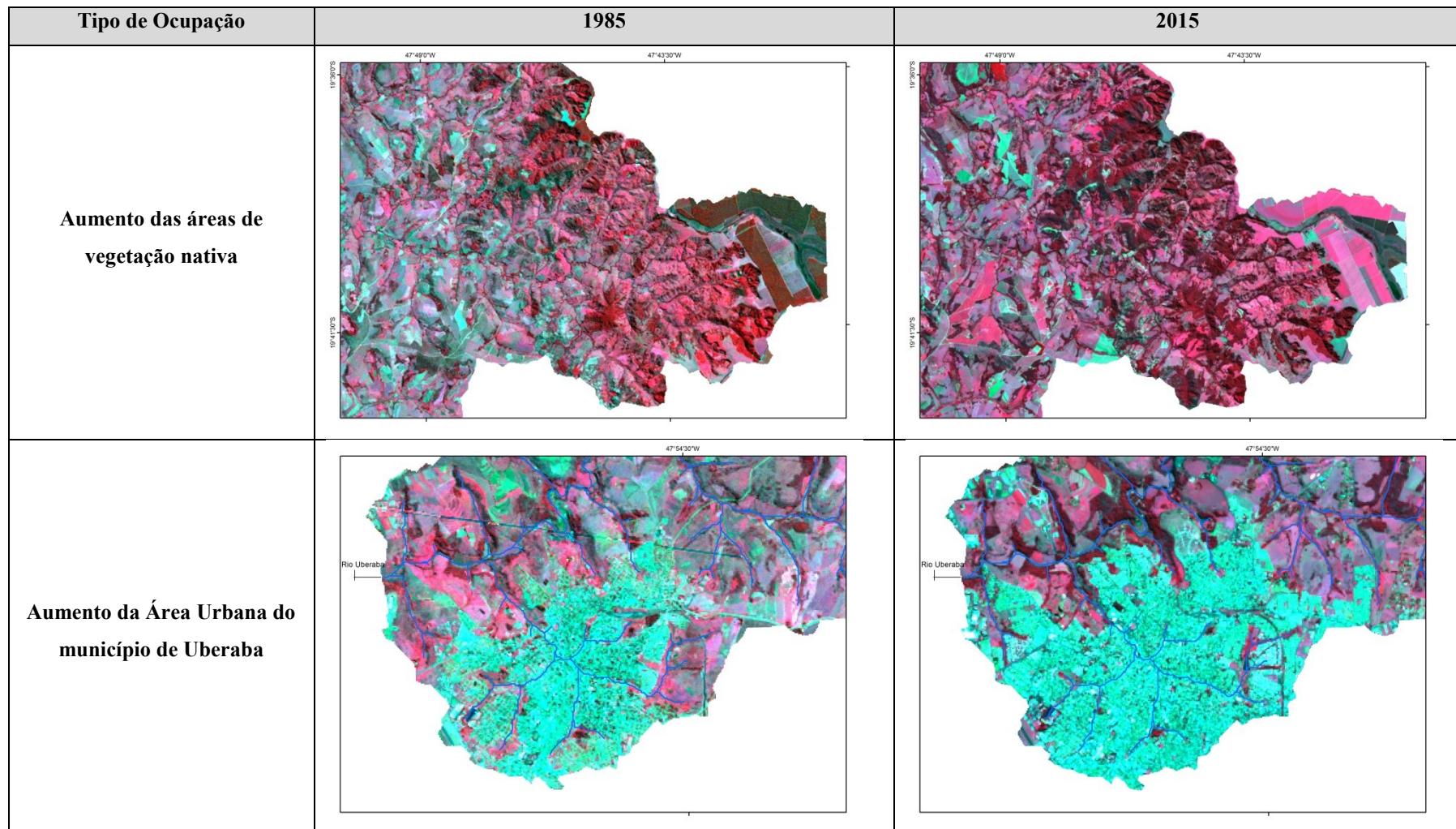
De acordo com os dados apresentados, fica claro que o padrão de substituição predominante na área de estudo entre os anos de 1964 e 1998 foram as pastagens substituindo as áreas de vegetação nativa (23,02% da área da bacia do rio Uberaba). Em 9,68% da área foi verificada a substituição de pastagens por áreas de vegetação nativa. A inserção de áreas agrícolas em áreas de vegetação nativa ocorreu em 9,01% da área total da bacia do rio Uberaba. Por sua vez, as pastagens foram substituídas por áreas agrícolas em 8,43% da área.

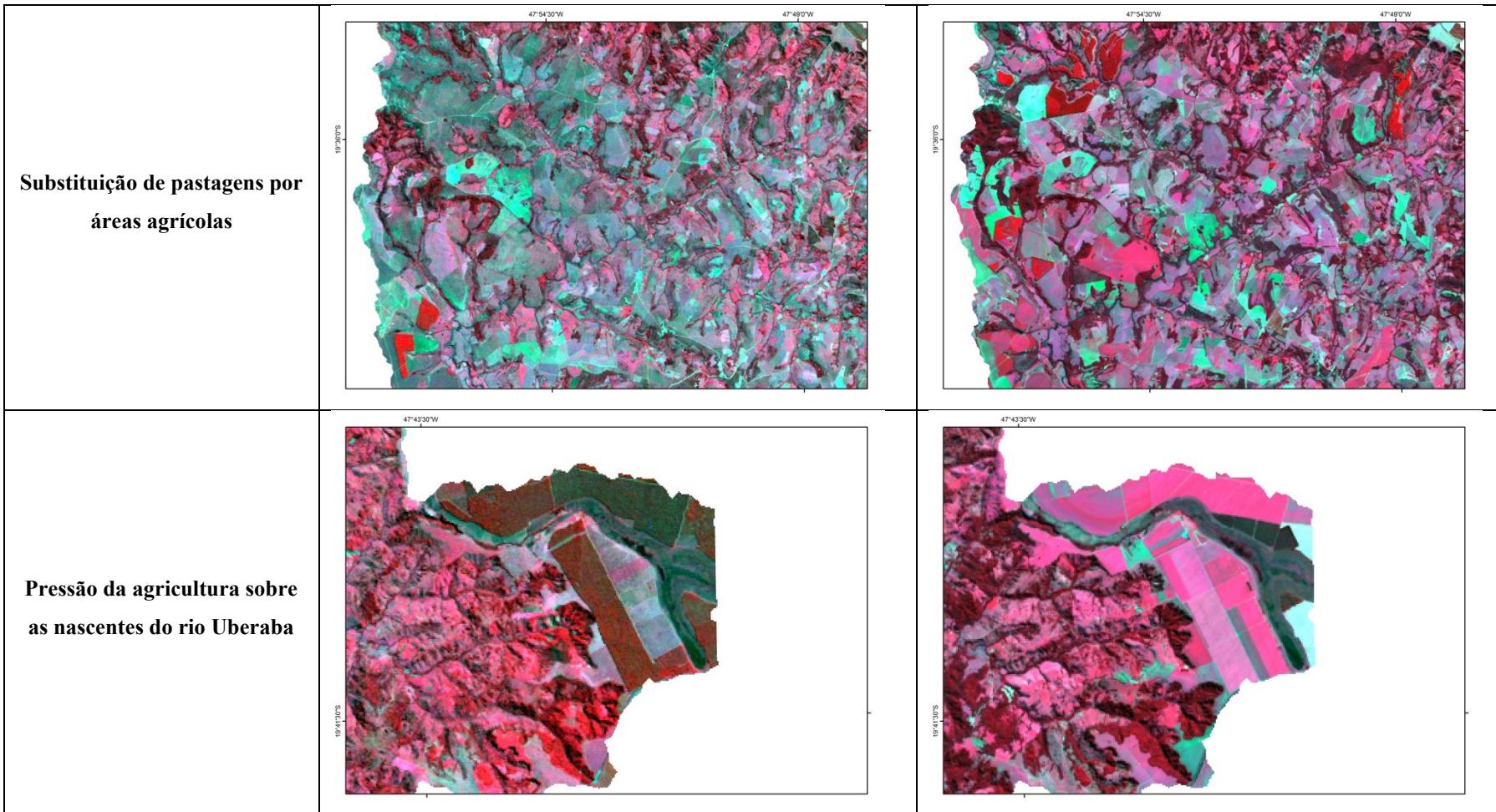
Especificamente no alto curso da bacia do rio Uberaba, percebe-se a predominância das áreas agrícolas ocupando as áreas que outrora eram ocupadas por vegetação nativa. Essa substituição se dá, sobretudo, nas áreas mais planas e à montante do rio Uberaba, próximas ao divisor de águas da bacia. Outras substituições predominantes verificadas no alto curso do rio Uberaba são as áreas agrícolas substituindo as áreas de pastagem e as pastagens substituindo as áreas de vegetação nativa.

A análise das composições coloridas de imagens de satélites tomadas entre os anos de 1985 e 2015 possibilita a confirmação dos parâmetros de uso e ocupação das terras identificados por Cruz (2003). Abaixo pode-se encontrar as imagens dos principais padrões de uso e ocupação das terras no alto curso do rio Uberaba no período supracitado e a confirmação, por identificação visual, dos mesmos (Mapa 11).

Mapa 11. Composições coloridas R4G3B2 das imagens de satélite dos anos de 1985, 1995 e 2005 e R5G4B3 da imagem de do ano de 2015.







Duas mudanças são notáveis nos padrões de uso e ocupações das terras no alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba: a substituição das pastagens (paisagem predominante na área de estudo ainda nos dias atuais) por áreas agrícolas e; o aumento da área urbana em direção ao leito do rio Uberaba.

Evolução das atividades agrícolas

Utilizando a mensuração do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada – NDVI foi possível estimar o quanto as áreas agrícolas se expandiram na área de estudo. A primeira imagem do mapa 12 demonstra a composição colorida R4G5B3 da imagem do satélite *Landsat 5* do ano de 1988. Na referida composição, as áreas agrícolas em pleno estado vegetativo são destacadas em cores alaranjadas, facilitando assim suas delimitações. A segunda imagem refere-se ao resultado do NDVI da mesma imagem, onde as áreas com os valores próximos de +1 (alto índice vegetativo) são destacados na cor azul.

No ano de 1988, as culturas agrícolas ocupavam 208,6 hectares do alto curso do rio Uberaba, o que representava 0,36% do total da área de estudo. As áreas agrícolas ocorriam de maneira mais intensa fora dos limites da área de estudo. Pode-se afirmar que a escala NDVI próximo a 0,7 dentro dos limites do alto curso do rio Uberaba representa os fragmentos de vegetação nativa, devido à interpretação visual da composição colorida RGB da imagem de satélite, (rugosidade, cor avermelhada e forma geométrica dos alvos). Por sua vez, as áreas que apresentam o intervalo da escala NDVI entre 0,389 e 0,544 correspondem às áreas com baixo índice de vegetação tais como as pastagens, área urbana e solos expostos.

A figura B demonstra a composição colorida R5G6B4 da imagem do satélite *Landsat 8* do ano de 2014. Assim como na composição colorida da imagem de 1988, na imagem de 2014 as áreas ocupadas por áreas agrícolas em pleno estado vegetativo apresentam a coloração alaranjada. Em 2014 as áreas de agricultura ocupavam 7605,17 hectares (13,58% da área total do alto curso do rio Uberaba). Percebe-se a existência mais intensiva das culturas no interior do alto curso da bacia do rio Uberaba, além da inserção em grande escala das culturas irrigadas por pivô central nos arredores da área de estudo, sobretudo na área de chapada localizada à montante dos limites estabelecidos para este estudo.

Mapa 12. Composição RGB e NDVI de imagens de satélite dos anos de 1988 e 2014.

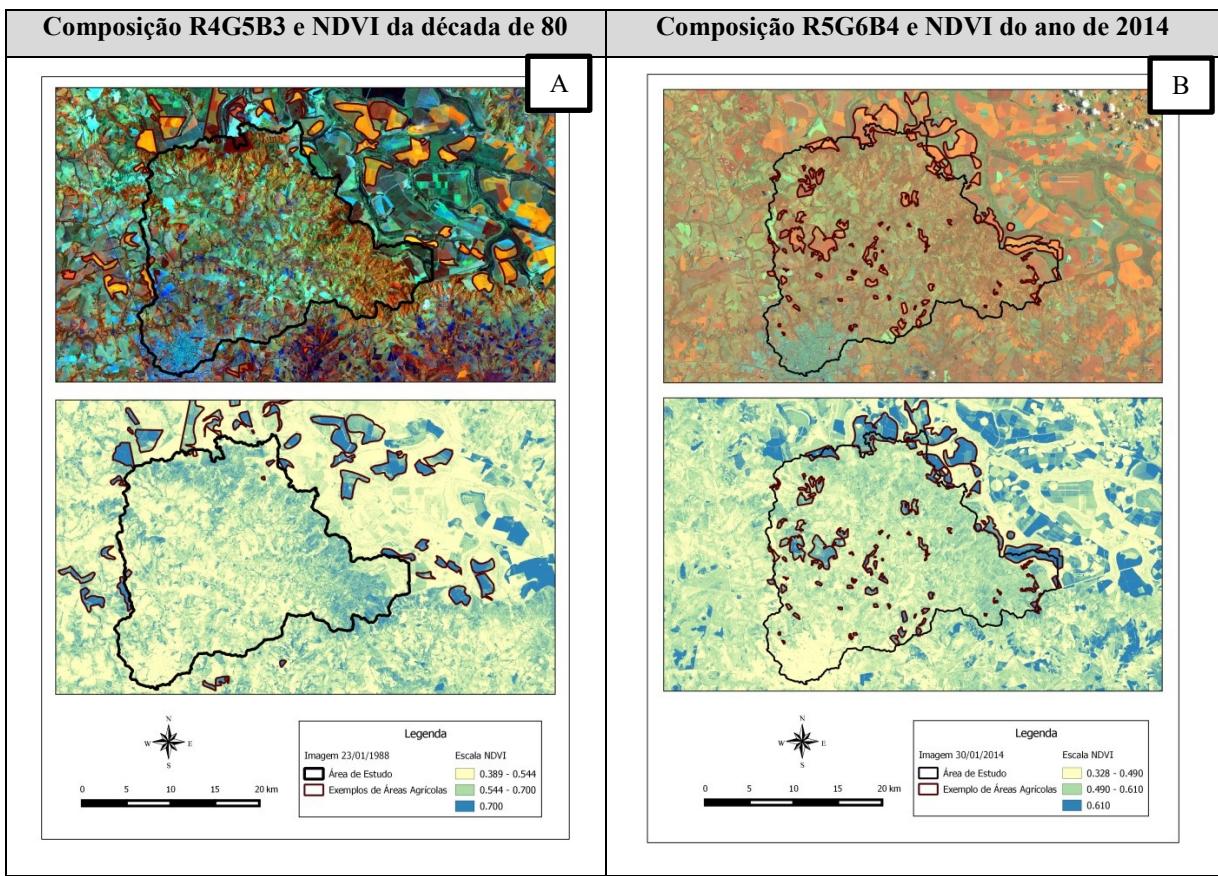


Tabela 10. Comparativo das áreas ocupadas por atividades agrícolas em 1988 e em 2014.

Ano	Área ocupada por atividades agrícolas (hectares)	Porcentagem em relação à área total da área de estudo (%)
1988	208,6	0,36
2014	7605,17	13,48

Através da imagem anterior, percebe-se a intensificação das atividades agrícolas, tanto no interior do alto curso do rio Uberaba quanto em suas imediações. Comparando as imagens da década de 1980 e da década de 2010, percebe-se a conversão das áreas de pastagens por áreas agrícolas. Apesar da pobreza nutricional dos solos do alto curso do rio Uberaba, os mesmos são considerados produtivos, devido ao uso intensivo de insumos, seja para a correção da acidez típica dos solos do Cerrado ou para o uso de fertilizantes (ABDALA, 2005). As atividades agrícolas, portanto, são cada vez mais atrativas, e podem fazer parte da paisagem do alto curso do rio Uberaba de maneira mais intensa nas próximas décadas.

Neste mesmo sentido, Pereira et. al. (2015), analisaram a expansão das atividades canavieiras no âmbito da APA Rio Uberaba, localizada no alto curso do rio Uberaba, entre os anos de

2001 e 2009 e constataram a intensificação dessas atividades, principalmente nas áreas próximas aos mananciais do rio Uberaba. Os autores concluíram que houve um aumento de 6,875% das atividades canavieiras na área da APA rio Uberaba no período supracitado, seja em substituição às áreas de vegetação nativa ou em substituição às pastagens.

Evolução da área urbana do município de Uberaba

Assim como a maioria das malhas urbanas brasileiras, o município de Uberaba presenciou um aumento considerável de sua área urbana nas últimas décadas. Tal fato é comprovado quando se analisa as imagens de satélite dos anos de 1985 e 2015 (mapa 13 e tabela 11).

Mapa 13. Área urbana do município de Uberaba em 1985 e 2015.

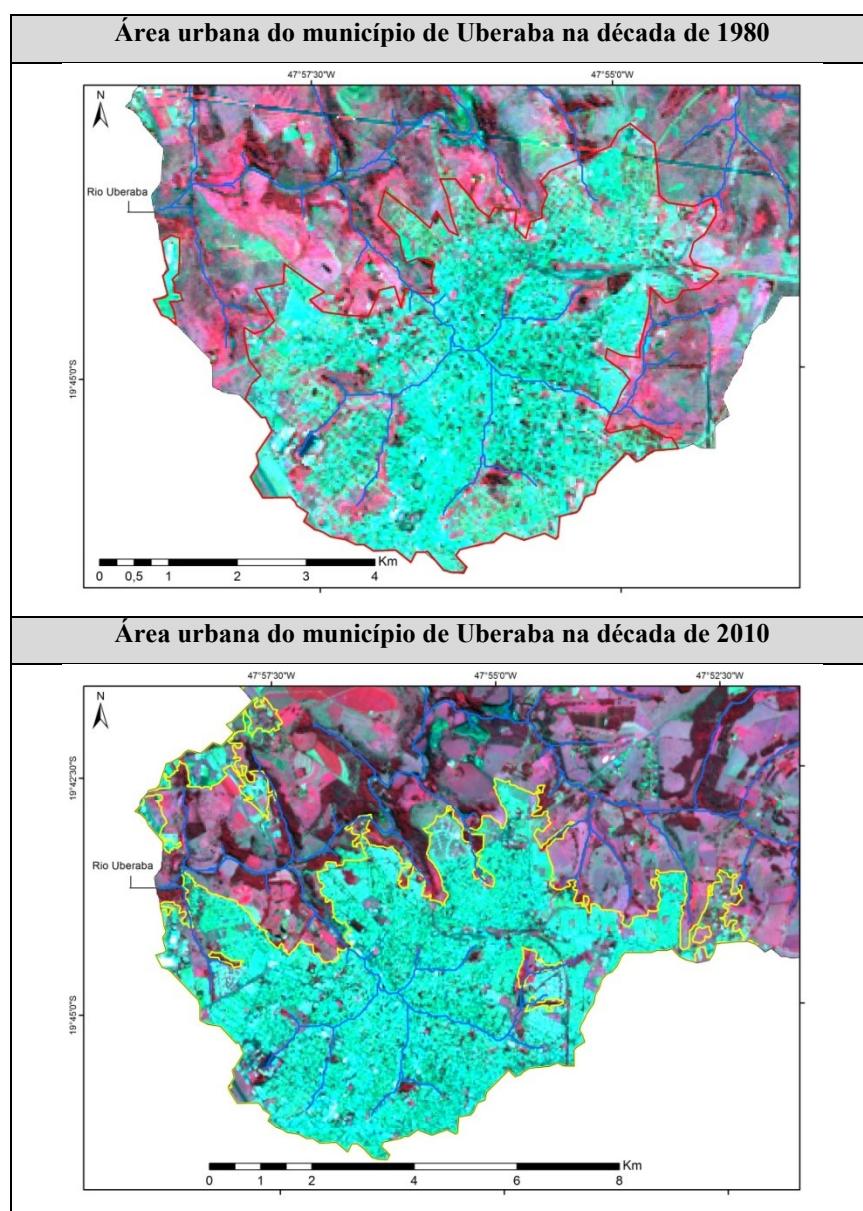


Tabela 11. Comparativo entre a área urbana do município de Uberaba no interior da área de estudo nos anos de 1985 e 2015.

Ano	Área urbana (hectares)	Porcentagem em relação à área total da área de estudo (%)
1985	2566,02	4,55
2015	3988,2	7,07

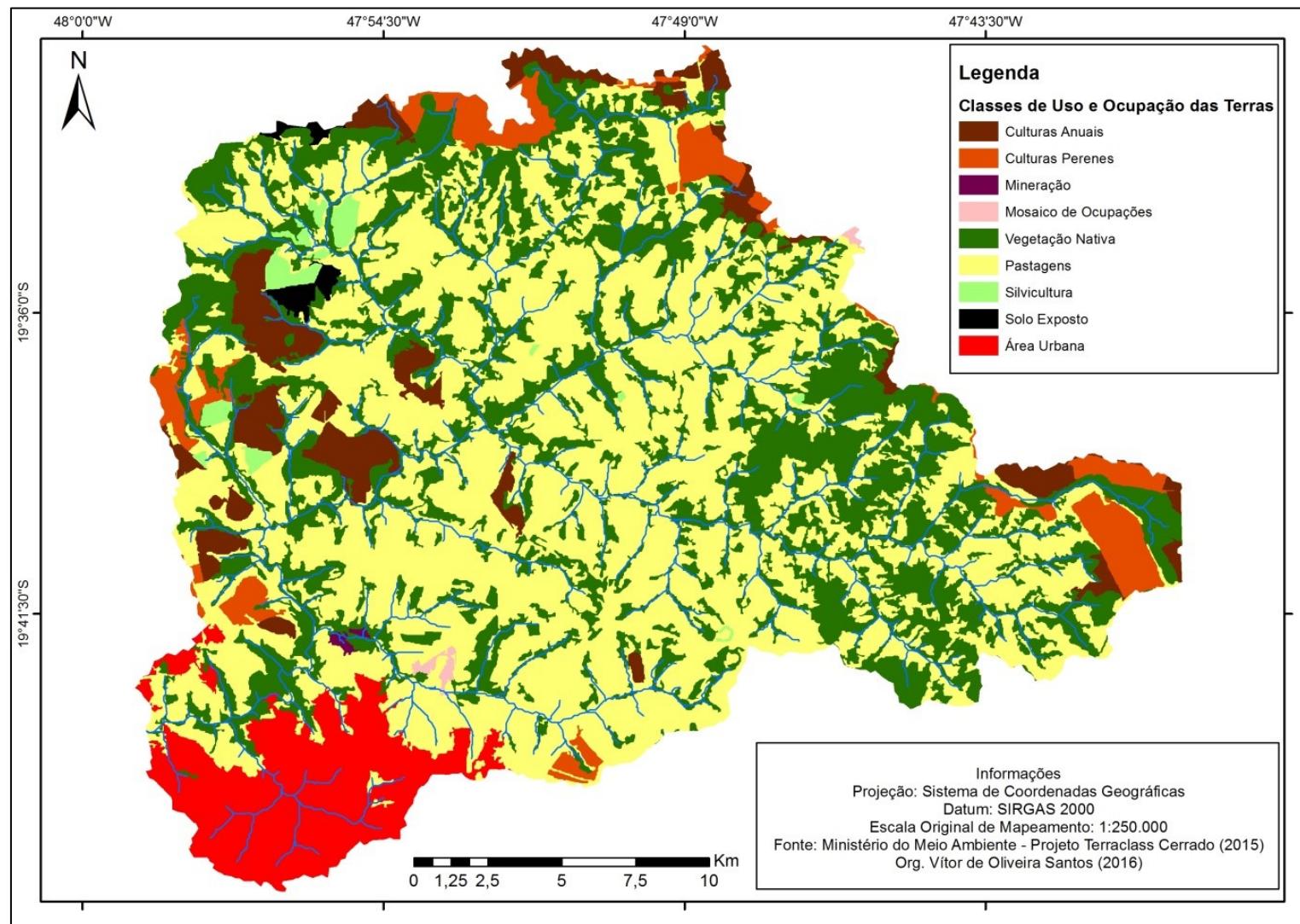
É notável o aumento da área urbana do município de Uberaba dentro dos limites da área de estudo. No ano de 1985, a zona urbana überabense ocupava 2566,02 hectares, o que representava 4,55% da área de estudo total. Trinta anos depois, em 2015, passou a ocupar 3988,2 hectares (7,07% da área do alto curso do rio Uberaba).

O aumento da área urbana traz consigo problemas inerentes ao próprio processo de urbanização como a impermeabilização dos solos pelo asfaltamento das vias de circulação e pela maciça construção de edificações (gerando modificações na dinâmica de infiltração de água no solo e de escoamento superficial), canalização de córregos e outros cursos d’água existentes dentro da malha urbana, poluição dos rios próximos, etc. No caso do município de Uberaba, a expansão urbana se deu também em direção ao leito do rio Uberaba, o que pode gerar pressões cada vez mais enérgicas à qualidade ambiental deste rio.

Uso e ocupação das terras no alto curso da bacia do rio Uberaba na atualidade

O resultado da classificação de uso e ocupação das terras realizada pelo projeto Terraclass Cerrado (2015) pode ser encontrado no mapa 14 e na tabela 12.

Mapa 14. Uso e ocupação das terras no alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba em 2013.



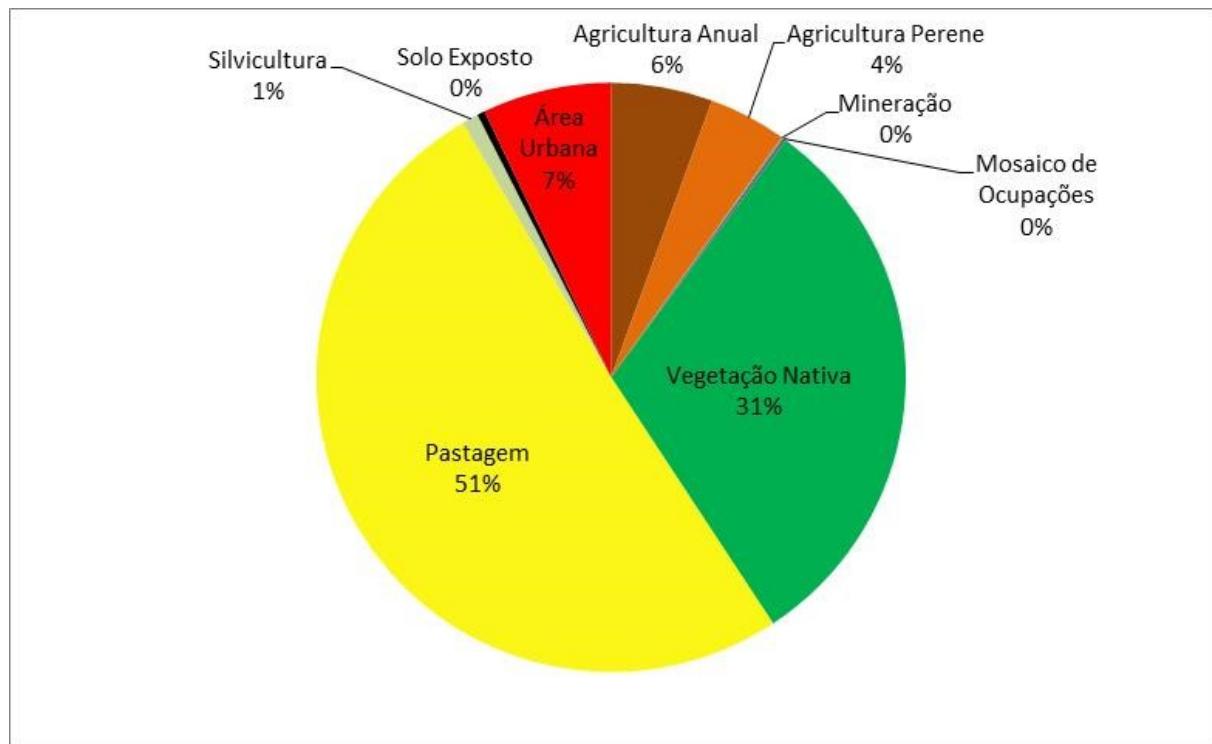
Fonte: TerraClass Cerrado (2015).

Tabela 12. Área e porcentagem dos usos sobre superfície terrestre do alto curso da bacia do rio Uberaba.

Tipo de uso	Área Ocupada (hectares)	Porcentagem (%)
Pastagem	28.684,0	50,86
Vegetação Nativa	17.211,7	30,64
Área Urbana	3.988,3	7,07
Agricultura Anual	3.137,2	5,56
Agricultura Perene	2.409,8	4,27
Silvicultura	509,5	0,90
Solo Exposto	238,5	0,42
Mosaico de Ocupações	97,5	0,17
Mineração	49,3	0,08
Total	56.394,4	100

Fonte: Terraclass Cerrado (2015)

Figura 24. Gráfico dos usos e ocupação das terras do alto curso da bacia do rio Uberaba.



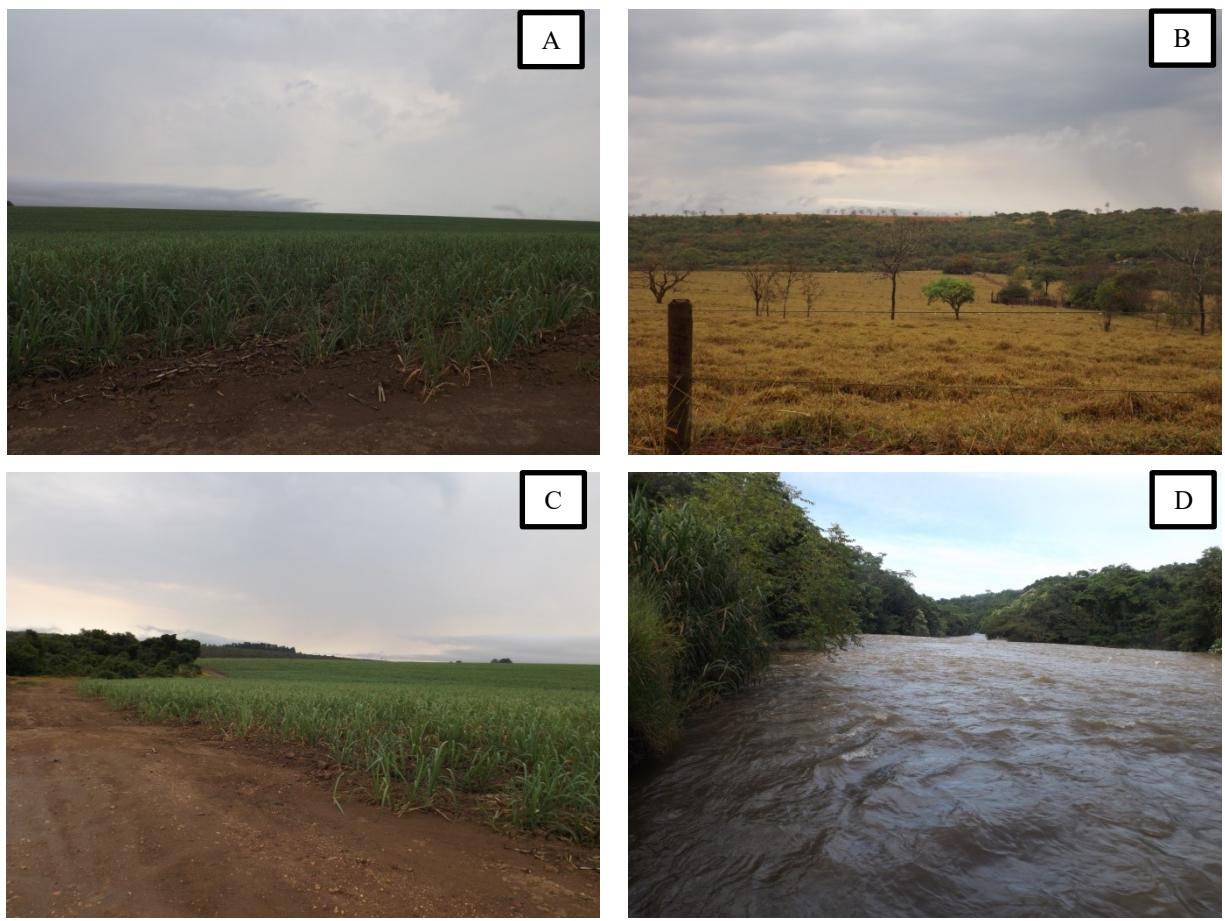
Fonte: Terraclass Cerrado (2015)

Nota-se que no alto curso da bacia do rio Uberaba há um amplo predomínio das áreas de pastagens (50,86%), seguidas das áreas de vegetação nativa (30,64%), das áreas de agriculturas anuais e perenes (que juntas somam aproximadamente uma ocupação de 10% da área total). Outro uso da terra com ocupação relevante é a área urbana do município de Uberaba, que ocupa em torno de 7% da área. De modo geral, conclui-se que em torno de 70%

da área de estudo se encontra antropizada, enquanto pouco mais de 30% da área está preservada, ocupada com vegetação nativa.

A imagem A da figura 53 mostra uma extensa plantação de cana-de-açúcar nas áreas mais altas da área de estudo, já na superfície de chapada, em um dos pontos mais planos do alto curso do rio Uberaba. Por sua vez, a imagem B apresenta a paisagem mais recorrente encontrada na área em questão: as pastagens intercaladas com áreas de vegetação nativa. Na imagem C pode-se visualizar uma amostra da cultura canavieira bem próxima à área de vegetação nativa nas encostas da chapada e na imagem D, o rio Uberaba e a mata ciliar em torno de suas margens, nas proximidades da ponte da BR-050.

Figura 25. Usos e ocupação das terras recorrentes no alto curso do rio Uberaba.



Legenda: A) 19°32'58.39"S/47°53'2.80"O; B) 19°35'25.61"S/47°51'39.53"O; C) 19°32'56.43"S/ 47°53'7.27"O; D) 19°43'39.61"S/ 47°58'51.28"O

Fonte: Santos (2015)

Abdala (2005) aponta que a representação de vegetação nativa do alto curso do rio Uberaba é composta pelas fitofisionomias Cerradão, Matas de galeria, Mata de topos e encostas, campos hidromórficos e campo sujo. Na área de estudo, quando se analisa o mapa de uso e ocupação das terras em justaposição com o mapa de declividade, percebe-se que a predominância das áreas de vegetação nativa ocorre onde o relevo é mais acidentado, com maior porcentagem de declividade (entre 14% e 50%), além disso, as porções de vegetação nativa se encontram às margens dos cursos d'água.

Nota-se a heterogeneidade do uso e ocupação das terras no alto curso do rio Uberaba. Apesar da predominância das áreas de pastagens, a paisagem da área vem mudando ao longo das últimas décadas, com as áreas de agricultura substituindo as pastagens de modo intensivo, o avanço da área urbana em direção ao leito do rio Uberaba, a regeneração da vegetação nativa em algumas áreas e a supressão da mesma em outros locais para a inserção de complexos agrícolas e pecuários. É possível que a interação desses fatores tenha causado mudanças em alguns dos componentes hidrológicos detectados nessa pesquisa.

5.2. Discussões

Os resultados indicaram que, em relação aos totais, as chuvas no alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba apresentaram tendência de redução na maioria das séries históricas analisadas. A exceção é representada pelas precipitações dos meses de janeiro-fevereiro-março (fim do período chuvoso), que apresentou tendência de aumento nos testes de regressão linear e Mann-Kendall e Pettitt. Este último teste mostra que o aumento das precipitações ao fim período chuvoso foi mais significativo a partir dos do ano hidrológico de 1988/1989. Nas outras séries históricas de precipitação analisadas, o teste de Pettitt apontou que o decréscimo das chuvas vem ocorrendo desde os anos hidrológicos de 1986/1987 (chuvas nos meses de outubro-novembro-dezembro e os totais anuais), 1990/1991 (precipitações nos meses de abril-maio-junho) e 1991/1992 (chuvas nos meses de julho-agosto-setembro e chuvas do período seco como um todo).

É importante relevar os resultados obtidos pelo Painel Internacional de Mudanças Climáticas – IPCC (2007). O estudo aponta para uma projeção de aumento de 5% nas precipitações no trimestre dezembro-janeiro-fevereiro e uma diminuição de 10% das precipitações ocorridas em junho-julho-agosto na porção centro-sul do Brasil.

Com relação às tendências de vazões de 7, 15, 20, 30 e 45 dias de estiagem, os testes de tendência utilizados neste trabalho apontaram queda em todos eles. Porém, o teste de homogeneidade de Pettitt indicou que as vazões de 7 e 20 dias de estiagem decresceram significativamente a partir do ano hidrológico de 1983/1984, e que as vazões de 15, 30 e 45 dias de estiagem apresentaram queda significativa em seus índices a partir do ano hidrológico de 1985/1986. As vazões máximas mensais, nos períodos secos e chuvosos, vêm aumentando, o que passou a ocorrer, de acordo com o teste de Pettitt, a partir do período chuvoso do ano de 1999. Por sua vez, as vazões mínimas mensais vêm diminuindo. O teste de Pettitt apontou uma quebra da série histórica das vazões mínimas a partir do ano 2000.

Sendo assim, os resultados indicaram que as chuvas ocorridas no fim da estação chuvosa aumentaram e as chuvas no período de estiagem diminuíram. Por sua vez, as vazões de estiagem e as mínimas mensais dos períodos secos e de cheias acompanharam essa tendência de decréscimo.

Outro fator a ser considerado e que pode ser o fator causador pela diminuição das vazões de estiagem é a captação de água para o abastecimento público do município de Uberaba. O ponto de captação fica a aproximadamente 7 km de distância, a montante, do posto fluirométrico utilizado como fonte de dados dessa pesquisa. Com o aumento da população do município de Uberaba, que de acordo com as estimativas do IBGE (2015) é de aproximadamente 320 mil habitantes, consequentemente há um aumento da demanda por abastecimento de água, conforme foi abordado no capítulo 3 desse trabalho. Em meados dos anos 90, no inicio da contagem do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2015), a administradora responsável pelo abastecimento de água do município de Uberaba atendia 276 mil pessoas. Já em 2014, a população atendida pelo abastecimento público de água passou a ser de 315.264 pessoas. Além disso, estão registrados no órgão ambiental mineiro de gestão das águas 187 pontos de captação de água (superficial e subterrânea) na área de estudo. Ainda existem as captações que não respeitam os limites impostos pelos decretos de outorga e as captações que não possuem sequer registro junto ao órgão ambiental. Portanto, a retirada de água da do alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba, seja para o abastecimento público ou para usos particulares diversos tem influenciado na diminuição das vazões de estiagem.

Para suprir a demanda decorrente de um aumento populacional tão significativo, como o município de Uberaba tem presenciado, é necessária a implantação e/ou a otimização de sistemas eficientes para o fornecimento de água à população, estabelecimento de políticas públicas de conscientização da população residente nas cidades, dos produtores rurais, etc., durante todo o período do ano, além de soluções criativas para a conservação e preservação da qualidade e quantidade dos recursos hídricos. Pereira (2012, p. 2) cita o caso da cidade de Nova Iorque, onde a prefeitura da cidade, “pressionada pela legislação federal, que estabeleceu normas nacionais para regulamentar a qualidade de água dos sistemas públicos de abastecimento hídrico, apresentou um plano alternativo para suprir as novas exigências e, assim evitar o aumento de gastos com tratamento de água”.

Segundo Chichilnisky e Heal (1998) apud Pereira (2012), a cidade de Nova Iorque tinha duas alternativas: o investimento de 6 a 8 bilhões de dólares para a construção de uma planta de tratamento de água, além de 300 milhões anuais para a manutenção do sistema ou o investimento de 1.5 milhões de dólares para a restauração das bacias hidrográficas. A cidade, então, optou pela segunda alternativa. A administração da cidade, então, criou um plano de manejo baseado na metodologia de purificação das águas pela vegetação, através do princípio do pagamento por serviços ambientais. Segundo Pereira (2012), o plano foi baseado na compra de porções de terra no entorno dos reservatórios de água, estabelecendo regras que abrangiam medidas de proteção ambiental e desenvolvimento econômico para a região, e ainda um programa de proteção de bacias e parcerias. Tal plano, apesar de ter apresentado suas limitações, sobretudo na questão de valoração e fundos para pagamento de impostos de tais terras, se tornou exemplo de pagamento de serviços ambientais – PSA e se espalhou pelo mundo.

Segundo Pereira (2012), o Brasil se inseriu no modelo de PSA em 2009, através do Programa Produtor de Água (<http://www.ana.gov.br/produagua>), estabelecido pela Agência Nacional de Águas – ANA. O programa apoia, orienta, certifica projetos que têm como meta a redução da erosão e o assoreamento em áreas rurais, melhorando a qualidade dos recursos hídricos, ampliando a sua disponibilidade e regularizando a oferta de água em bacias hidrográficas de importância estratégica no país. O Programa Produtor de Água é de adesão voluntária e se volta à produtores rurais que se proponham a adotar medidas conservacionistas em suas propriedades objetivando a conservação dos solos e águas, gerando benefícios que extrapolam os limites das propriedades. Atualmente, o programa possui projetos nos estados do Acre,

Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo e Tocantins.

No caso do rio Uberaba, a solução encontrada pela administração pública para a preservação dos recursos hídricos e outros recursos naturais foi a criação da Área de Proteção Ambiental – APA do rio Uberaba, através da Lei Estadual de Minas Gerais nº 13.183/1999. Em seu Artigo 2º, o documento informa que a APA do rio Uberaba tem como objetivo principal a recuperação, a preservação e conservação do rio Uberaba e também visa

“I – à proteção do ecossistema ribeirinho para a manutenção do regime hidrológico;
II – à preservação dos remanescentes florestais da bacia hidrográfica;
III – à recomposição florestal da vegetação ciliar e das demais áreas de preservação permanente previstas na Lei nº 10.561, de 27 de dezembro de 1991;
IV – à melhoria das condições para a recuperação e a proteção da fauna e flora regionais em especial das espécies ribeirinhas e da ictiofauna;
V – ao estímulo à melhoria da qualidade ambiental das áreas circunvizinhas.”

A Lei Municipal nº 9.892 de 28 de dezembro de 2005, criada como item complementar à lei citada anteriormente, estabeleceu a área da unidade de conservação, outros objetivos e seus limites. Esta lei delimitou a APA do rio Uberaba a partir do ponto de captação de água para o abastecimento público até às nascentes e mananciais a montante do ponto de captação. Em suma, a APA do rio Uberaba abrange todo o alto curso do referido rio, possuindo 528,1 km² de área total.

Nota-se então, que em 15 anos de vigor da Lei nº 13.183/1999 e em 10 anos de vigor da Lei nº 9.892/2005, não foram obtidos resultados satisfatórios em relação à preservação da qualidade e quantidade dos recursos hídricos da bacia do rio Uberaba. Com relação à disponibilidade hídrica, as situações apresentadas anteriormente demonstram que há mais de uma década os recursos do rio Uberaba não vêm sendo capazes de suprir a demanda hídrica da crescente população urbana. Ressalta-se que a jusante do município de Uberaba, o rio Uberaba ainda abastece as cidades de Conceição das Alagoas, Veríssimo e Delta. Cidades essas menores do que Uberaba, com menos recursos financeiros e mais dependentes dos recursos naturais provenientes do rio Uberaba.

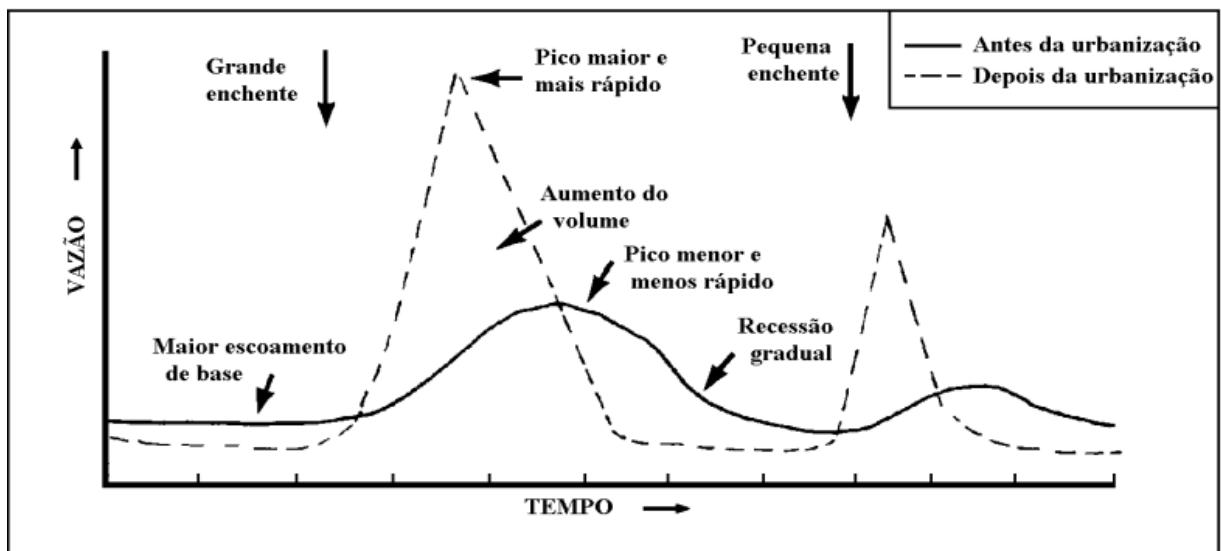
Aproveitando as indagações feitas por Pereira (2012), em seu estudo da disponibilidade hídrica dos rios Atibainha e Cachoeira, no estado de São Paulo, lançam-se aqui duas perguntas: é possível melhorar e aprimorar as condições das bacias hidrográficas que estão em

funcionamento? E quanto à produção de água nas bacias hidrográficas, é possível uma otimização da disponibilidade desses recursos? O caso de Nova Iorque, citado anteriormente, entre outros citados por Pereira (2012) indica que existe tal possibilidade. Quando há uma união e soma de esforços entre poder público, sociedade civil, agentes econômicos, o processo é facilitado. Ainda de acordo com Pereira (2012), os esforços e ações dos agentes sociais, tanto da administração pública quanto dos representantes da sociedade civil precisam estar em harmonia com o conhecimento e entendimento das dinâmicas específicas das bacias hidrográficas, considerando suas particularidades. Torna-se preciso, todavia, o implemento de medidas estruturais juntamente com as medidas não-estruturais.

Em relação ao aumento das vazões máximas mensais dos períodos de cheia, de seca e em toda a série histórica, pode-se afirmar que o avanço da área urbana do município de Uberaba em direção ao leito principal do rio é o principal agente gerador de tal aumento. A área urbana da cidade, no âmbito da área de estudo, que na década de 1980 ocupava 2.566 hectares, no ano de 2015 passou a ocupar aproximadamente 4 mil hectares de área, conforme consta no capítulo 5 deste trabalho. Portanto, o uso e ocupação das terras podem estar modificando a dinâmica das vazões máximas, já que a urbanização (além da alta porcentagem das áreas de pastagens na área de estudo) altera as condições de infiltração, impedindo que o volume de água precipitada infiltre nas camadas profundas dos solos, fazendo-a escoar superficialmente.

De acordo com a literatura consultada é consenso que o aumento das áreas urbanas, caracterizado pela construção de edificações, asfaltamento das vias urbanas e até a canalização de cursos d'água (como o ocorrido com o córrego das Lages, onde está estabelecido a Av. Leopoldino de Oliveira, na atualidade) modificam as dinâmicas do escoamento superficial. O trabalho de Tucci (2003) demonstra o comportamento das vazões em hidrogramas de ambientes pré-urbanizados e urbanizados. Em ambientes pré-urbanizados, o pico de cheia no hidrograma é menor e menos rápido, com recessão gradual. Já em ambientes urbanizados o pico de vazão após as precipitações é maior e mais rápido, movimentando maior volume de água. Isso se deve à impermeabilização dos solos, que reduz a infiltração de água, e o volume que deixa de infiltrar, fica na superfície, escoando superficialmente. Além disso, os condutos pluviais tornam o escoamento superficial mais rápido, aumentando os picos de vazão máxima. A figura 26 demonstra o comportamento das vazões em relação ao tempo em áreas antes e depois de processos de urbanização.

Figura 26. Hidrograma vazão x tempo de áreas antes e depois de processo de urbanização.



Fonte: Tucci (2003).

O trabalho de Navarro (2013) corrobora as assertivas de expostas acima. Segundo o autor, em simulações de uso e ocupações das terras e sua influencia sobre as vazões máximas da microbacia do córrego da Cachoeirinha, no estado de São Paulo, o avanço do processo de urbanização na área de estudo gera efeito considerável sobre o coeficiente de escoamento superficial. Os resultados desta pesquisa apontam que, caso a área urbana da microbacia em questão evolua de 15% (área urbanizada atual) para 45% (estimativa futura), o coeficiente de escoamento superficial passará de 0,26 para 0,40, e as médias das vazões máximas, aumentarão de 55,04 m³/s para 83,26 m³/s⁸.

Batista et. al. (2012) avaliaram a vazão de três bacias hidrográficas na região dos municípios de Poços de Caldas e Itajubá, em Minas Gerais, frente a diferentes cenários de urbanização (cenário atual, cenário de acordo com o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e cenário de ocupação máxima) através do modelo hidrológico IPHS-1 e concluíram que as vazões de pico aumentaram de acordo com o aumento da estimativa da urbanização, indicando maior resposta das bacias hidrográficas aos eventos pluviométricos.

Os trabalhos de Arndt (2009), Chen et. al. (2015), Huong e Pathirana (2013), Targa et. al. (2012), Trevisol e Back (2011) e Vendrame e Lopes (2005), em diferentes bacias

⁸ Vazões estimadas através do Método de I-PAI-WU.

hidrográficas do Brasil e em âmbito mundial também indicam que o aumento das áreas urbanas gera impactos significativos nas vazões máximas dos cursos d'água analisados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados obtidos na presente pesquisa, foi possível inferir as seguintes considerações:

- Foi constatado que os totais anuais de precipitação, de modo geral, estão reduzindo, e que as precipitações ocorridas no fim do período chuvoso (janeiro-fevereiro-março) estão aumentando. Esse último fato corrobora as projeções do IPCC (2007) quanto ao aumento de 5% das precipitações ocorridas nos meses derradeiros do período chuvoso;
- As vazões de estiagem e as vazões mínimas mensais nos períodos de cheia apresentaram tendência de redução;
- O aumento da população urbana do município de Uberaba e consequente aumento do volume de captação de água do rio Uberaba para o abastecimento urbano, mesmo com a adoção de algumas medidas estruturais para otimização da captação, juntamente com a retirada de água do sistema hídrico para irrigação das culturas agrícolas, tem sido o principal fator externo ao ciclo hidrológico que está impactando as vazões, sobretudo as vazões dos períodos secos, do rio Uberaba;
- As vazões máximas apresentaram tendência de aumento, nos períodos de seca e cheia, o que pode estar relacionado com o avanço da área urbana do município de Uberaba em direção ao leito do rio Uberaba.

Para se ter certeza dos resultados aqui obtidos, se torna fundamental a utilização de ferramentas mais robustas, que executem análises espaciais que agreguem as características físicas e os dados ambientais das bacias hidrográficas. A utilização dos modelos hidrológicos pode ser útil, já que são capazes de simular os processos hidrológicos quando os mesmos não são disponibilizados normalmente. O modelo *Soil and Water Assessment Tool – SWAT*, por exemplo, é um modelo matemático de parâmetro distribuído (variáveis são dependentes do tempo e/ou espaço) que pode ser inserido em um ambiente SIG, considerando a variabilidade espacial dos parâmetros físicos das bacias hidrográficas (SILVA et. al., 2015). Além disso, possibilita que diversos processos físicos sejam simulados, com o objetivo de avaliar os impactos das alterações no uso e ocupação das terras sobre as fases do ciclo hidrológico (FERNANDES et. al., 2012).

Outra possibilidade metodológica para a compreensão das interferências das mudanças no uso e ocupação das terras nas variáveis hidrológicas é o estudo em bacias hidrográficas pareadas. O emprego desse método visa o monitoramento de ao menos duas bacias hidrográficas com características físicas semelhantes e que possuam a mesma tipologia de vegetação. Após certo tempo, em uma das bacias modifica-se o uso e ocupação das terras, total ou parcialmente, e uma delas se mantém inalterada. Após esse processo, é seguido um novo período de monitoramento para verificar se houve ou não alterações nas variáveis hidrológicas, conforme aponta Bayer (2014).

Espera-se, portanto, que este trabalho instigue o desenvolvimento de pesquisas que correlacionem a evolução do uso das terras com a dinâmica dos componentes do ciclo hidrológico utilizando metodologias cada vez mais inovadoras e precisas.

REFERÊNCIAS

ABDALA, V. L. **Diagnóstico hídrico do rio Uberaba – MG, como subsídio para a gestão das áreas de conflito ambiental.** 2012. 64 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” – UNESP, Jaboticabal, 2012.

_____, V. L. **Zoneamento ambiental da bacia do alto curso do rio Uberaba – MG como subsídio para gestão do recurso hídrico superficial.** 2005. 73 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia/MG.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Hidroweb – Sistema de Informações Hidrológicas.** Disponível em <www.hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: 18 de maio de 2015.

ARNDT, M. A. **Uso e ocupação do solo e escoamento superficial na Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel.** 2009. 35f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. UNIOESTE. Cascavel-PR, 2009. Disponível em: <http://tde.unioeste.br/tde/tde_arquivos/1/TDE-2010-01-20T122507Z-390/Publico/Marcos%20Alexandre%20Arndt.pdf> . Acesso em: 15 de fev. 2016.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos.** Tradução Maria Juraci Zani dos Santos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 332 p.

BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 36, n. 5, p. 717-726. 2001.
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000500001>

BAGGIOTTO, C. et. al. **Análise de séries temporais de chuvas e vazões da bacia hidrográfica do rio Camaquã.** In. Simpósio de Ensino, Pesquisa e Extensão. Santa Maria. 2012.

BARBOSA, D. S. **Limnologia do rio Uberaba (MG) e a utilização de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores das modificações ambientais.** 2003. 159 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, EESC, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003.

BATISTA, T. R. et. al. Influência da urbanização nas vazões máximas de pequenas bacias. **Hidro e Hydro.** Revista n. 53, Ano 14, p. 19-23, 2012. Artigo Técnico. Disponível em: <<http://cerpch.unifei.edu.br/wp-content/uploads/revistas/revista-53.pdf#page=19>>. Acesso em. 30 de jan. 2016.

BAYER, D. M. **Efeito das mudanças de uso da terra no regime hidrológico de bacias de grande escala.** 2014. 156 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In. TUCCI, C. E. M. (Org). **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 4. ed. Porto Alegre: ABRH, 2009.

BLAIN, G. C. Considerações estatísticas relativas a seis séries mensais de temperatura do ar da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia.** v. 26, n. 2, p. 279-296, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862011000200012>

_____, G. C. Detecção de tendências monótonas em séries mensais de precipitação pluvial do estado de São Paulo. **Bragantia.** v. 69, n. 4, p. 1027-1033, 2010. Nota. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000400031>

BOSCH, J. M.; HEWLETT, J. D. A review of catchment experiments to determine the effects of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Jornal of Hydrology.** Amsterdam. n. 55, p. 3-23. 1982. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(82\)90117-2](https://doi.org/10.1016/0022-1694(82)90117-2)

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado: Projeto Terraclass Cerrado 2013**/MMA/sbf. Brasilia: MMA, 2015. 67 p.

CALASANS, N. A. et. al. Interrelações entre clima e vazão. In: SCHIAVETTI, A; CAMARGO, A. F. M. (Org). **Conceitos de Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações.** Ilhéus – BA: EDITUS, 2005. p. 67-90.

CANDIDO, H. G. **Degradação ambiental da bacia do rio Uberaba – MG.** 2008. 96 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” – UNESP, Jaboticabal, 2003.

CHEN, X. et. al. Analysing the effects of urbanization on flood characteristics at catchment levels. **Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences – PIAHS.** n. 370. p. 33-38. 2015. Disponível em: <<http://www.proc-iahs.net/370/33/2015/piahs-370-33-2015.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2015.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial.** v. 1. O canal fluvial. São Paulo/SP. Edgard Blücher. 1981.

COSTA, M. H. et. al. Effects of large scale changes in land cover on discharge of Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Jornal of Hydrology.** n. 283, p. 206-217. 2003. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00267-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00267-1)

CRUZ, L. B. S. **Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do rio Uberaba.** 2003. 180 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas/SP.

DIAS, L. C. P. **Efeito da mudança na cobertura vegetal na evapotranspiração e vazão de microbacias na região do Alto Xingú.** 2013. 78 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. Minas Gerais. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro/RJ). 306 p. Rio de Janeiro, 2006.

FEITOSA, D. G. et. al. **Evapotranspiração real para diferentes coberturas vegetais no norte paulista em período seco.** In. Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. 12. Cascavel/PR. 2012.

FERNANDES, G. J. et. al. O modelo SWAT e suas possibilidades e aplicações em APL Agrícolas. **Revista Brasileira de Geografia Física.** vol. 1. p. 115-126. 2012. Recife/PE. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewArticle/355>>. Acesso em: 23 de mar. 2016.

FERRARI, A. L. Variabilidade e tendência da temperatura e pluviosidade nos municípios de Pirassununga, Rio Claro, São Carlos e São Simão (SP): estudo sobre mudança climática de curto prazo em escala local. 2012. 154 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP.

FERREIRA, V. O. Paisagem, recursos hídricos e desenvolvimento econômico na Bacia do Rio Jequitinhonha, em Minas Gerais. 2007. 313 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FONTOLAN, M. R. et. al. Comportamento climático ao longo do rio Tietê: aplicações envolvendo testes estatísticos. **Revista Geonorte.** Edição Especial 2, v. 1, n. 5, p. 466-475, 2012.

GITHUI, F. W. et. al. Statistical and trend analysis of rainfall and river descharge: Yala river basin, Kenya. 2005.

GROOPPO, J. D. et. al. Análise de séries temporais de vazão e precipitação em algumas bacias do estado de São Paulo com diferentes graus de intervenções antrópicas. **Geociências.** v. 24, n. 2, p. 181-193, 2005.

GUARENGUI, M. M. Avaliação dos impactos sobre a quantidade e qualidade das águas devido ao crescimento da atividade canavieira. 2014. 127 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos). Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP. Campinas/SP.

GUO, H. et. al. Annual and seasonal streamflow responses to climate and land-cover changes in Poyang Lake basin, China. **Journal of Hydrology.** v. 355, p. 106-122, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.03.020>

HELSEL, D. R.; HIRSCH, R. M. Statistical Methods in Water Resources. **Techniques of Water Resources Investigations of United States Geological Survey – USGS.** Capítulo 3. 524p. 2002.

HIBBERT, A. R. **Forest treatments effects on water yield.** In. International Symposium of Forest Hydrology. Pergamon, Oxford. 1967.

HIRSCH, R. M. et. al. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. **Water Resources Research.** v. 18, n. 1, p. 107-121, 1982. <https://doi.org/10.1029/WR018i001p00107>

HUONG, H. T. L.; PATHIRANA, A. Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam. **Hydrology and Earth System Sciences**. v. 17. p. 379-374. 2013. <https://doi.org/10.5194/hess-17-379-2013>

HURKMAN, R. T. W. L. et. al. Effects of land use changes on streamflow generation in the Rhine basin. **Water Resources Research**. vol. 45, 15 p., 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **IBGE Cidades**. Disponível em: <www.cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: ago. 2015.

IPCC, 2007. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976p.

KARMANN, I. Ciclo da água: Água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W. et. al. (Org). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. p.113-127.

KEENAN, R. J. et. al. **Plantations and water**: plantations impacts on streamflow. Australian Government, Bureau of Rural Sciences. 8 p., 2006.

KENDALL, M. G. **Rank correlation Methods**. London: Charles Griffin, 120p. 1975.

LATORRE, M. R. D. O.; CARDOSO, M. R. A. Análise de séries temporais em epidemiologia: uma introdução sobre os aspectos metodológicos. **Revista Brasileira de Epidemiologia**. v. 4, n. 2, p. 145-152, 2001. <https://doi.org/10.1590/S1415-790X2001000300002>

LIU, Z. et. al. Land use and climate changes and their impacts on runoff in the Yarlung Zangbo River Basin, China. **Land degradation & development**. 13 p, 2012.

LOARIE, S. A. et. al. Direct impacts on local climate of sugar-cane expansion in Brazil. **Nature Climate Change**. vol. 1. p. 105-109. 2011. Disponível em: <<http://www.nature.com/nclimate/journal/v1/n2/full/nclimate1067.html>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

MACÊDO, M. N. C. et. al. Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia Ocidental. **Revista Ambiente e Água**. Taubaté. vol. 8, n. 1, p. 206-211. 2013.

MANN, H. B. Non-parametric tests against trend. **Econometrica**. v. 13, p. 245-259, 1945. <https://doi.org/10.2307/1907187>

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 20, n. 2, p. 215-226, 2005.

MESCHIATTI, M. C. et. al. Caracterização estatística de tendências em séries anuais de dados hidro-climáticos no estado de São Paulo. **Revista Geografia Acadêmica**. v. 6, n. 1, p. 52-64, 2012.

MINAS GERAIS. Lei nº 13.183 de 20 de janeiro de 1999. **Lei de Criação da Área de Proteção Ambiental da bacia hidrográfica rio Uberaba**. Minas Gerais.

MORAES, J. M. et. al. Análise de intervenção das séries históricas temporais de vazão dos principais rios da bacia do rio Piracicaba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 2, n. 2, p. 65-79, 1997. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v2n2.p65-79>

MORTATTI, J. et. al. Hidrologia dos rios Tietê e Piracicaba: séries temporais de vazão e hidrogramas de cheia. **Revista Ciência e Tecnologia**. v. 12, n. 23, p. 55-68, 2004.

MUTIE, S. M. et. al. Evaluating land use change effects on river flow using USGS geospatial stream flow model in Mara River basin Kenya. **Center for Remote Sensing of land surfaces**. Bonn. p. 141-148, 2006.

NAVARRO, E. C. **Influência da urbanização na vazão máxima da microbacia hidrográfica do córrego Cachoeirinha, Lençóis Paulistas, SP**. 2013. 71f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Botucatu/SP.

PENEREIRO, J. C. et. al. Caracterização estatísticas de tendências climáticas em séries anuais de temperatura média e precipitação para as capitais estaduais do Brasil. **Revista Geintec**. São Cristovão/SE, v.3, p. 01-15, 2012.

PENEREIRO, J. C; FERREIRA, D. H. L. A modelagem aplicada às questões ambientais: Uma abordagem didática no estudo da precipitação pluviométrica e da vazão de rios. **Millenium**. 42 (janeiro/junho), p. 27-47. 2012.

PENEREIRO, J. C; ORLANDO, D. V. Análises de tendências em séries temporais de dados climáticos e hidrológicos na bacia do rio Parnaíba, entre os estados do Maranhão e Piauí/Brasil. **Revista Geografia Acadêmica**, v. 7, n.2, p. 5-21, 2013.
<https://doi.org/10.18227/1678-7226rga.v7i2.2988>

PEREIRA, A. R. et. al. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2007. 478 p.

PEREIRA, R. S. et. al. **Expansão da cana-de-açúcar no município de Uberaba**. In. I Simpósio Internacional de Águas, Solos e Geotecnologias. 1. 2015. Uberaba. Cartografia, Banco de Dados Geográfico e Geoprocessamento.

PEREIRA, V. R. **Conversão do uso das terras e alterações das condições hidrológicas: o caso das bacias do Atibainha e Cachoeira**. 2012. 192 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas/SP.

_____, V. R.; FILHO, J. T. **Mapeamento de uso das terras a partir de séries históricas de imagens Landsat TM e ETM como subsídio nos estudos de impactos hidrológicos**. In. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. 2009.

PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Applied Statistics**, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979. <https://doi.org/10.2307/2346729>

RIENTJES, T. H. M. et. al. Changes in land cover, rainfall and stream flow in Upper Gilgel Abbay catchment, Blue Nile basin – Ethiopia. **Hydrology and Earth System Sciences**. v. 15, p. 1979-1989, 2011. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1979-2011>

RODRIGUES JUNIOR, D. J. et. al. **Compactação do solo e o pisoteio bovino numa pastagem com e sem irrigação**. In. II Seminário de Iniciação Científica – IFTM, 2009, Uberaba.

SANCHES, F. O. et. al. Análise das chuvas mensais em Alegrete (RS) no período de 1928-2009: um estudo de tendência. **Revista Geonorte**. Edição Especial 2, v. 1, n. 5, p. 844-854, 2012.

SANTANA, T. B. et. al. **Análise de tendências de longo prazo em séries de vazões: estudo de caso na bacia do alto rio Grande (MG)**. In. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2011. 14 p. Maceió/AL.

SANTOS, E. H. M. et. al. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na bacia hidrográfica do ribeirão João Leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande/PB. v. 14, n. 8, p. 826-834. 2010.

SANTOS, V. O. **Tendências fluvio-pluviométricas em bacias hidrográficas do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba: uma análise correlativa com o avanço da agricultura**. 2010. 106 p. Monografia (Graduação em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia/MG.

_____, V. O; FERREIRA, V. O. **Tendências pluvio-fluviométricas nas bacias do rio da Prata e Tijuco, sub-bacias do rio Paranaíba, em Minas Gerais**. In: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 9. 2010, Fortaleza. Impactos, riscos e vulnerabilidades socioambientais associadas ao Clima, 2010.

SEMEA – Secretaria de Meio Ambiente de Uberaba/MG. **Diagnóstico Ambiental APA – Rio Uberaba**. Uberaba, Brasil, set. 2004. 127 p.

SEMEA – Secretaria de Meio Ambiente de Uberaba/MG. **Plano de Manejo APA rio Uberaba**. 112 p. Disponível em: <http://www.uberaba.mg.gov.br/portal/acervo/meio_ambiente/arquivos/agenda_branca/plano_manejo.pdf>. Acesso em: Ago. 2015.

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American Statistical Association**. v. 63, p. 1379-1389, 1968. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>

SILVA, B. B. et. al. **Estimativa da evapotranspiração real diária para a microbacia do rio das Lontras utilizando algoritmo SEBAL e imagens Landsat 8**. In. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 17. 2015. João Pessoa, PB. 2015.

SILVA, A. F., et. al. **Disponibilidade de água para abastecimento público em Uberaba, MG**. In. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2011. 17 p. Maceió/AL, 2011.

SILVA, M. T. et. al. Aplicação do modelo SWAT na estimativa de vazão na bacia hidrográfica do submédio rio São Francisco. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 8 n. 6. p. 1615-1627. 2015. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/1538/884>>. Acesso em: 28 de mar. 2016.

SILVA, W. L. et. al. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 30, n. 2, p. 181-194, 2015. <https://doi.org/10.1590/0102-778620130622>

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e a bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M (Org); **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: ABRH, 2009. p. 35-40.

SNEYERS, R. **Sur l'analyse statistique des séries d'observations**. Gênevè: Organisation Méteorologique Mondial, 192p. OMM, Note technique n. 143. 1975.

TADEU, N. D. **Avaliação dos impactos hídricos da monocultura de eucalipto no trecho paulista da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul (Brasil)**. 2014. 176f. Dissertação (Mestre em Ciência Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental. Universidade de São Paulo – USP, São Paulo – SP.

TARGA, M. S. et. al. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucundubá, Belém, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. v. 7, n. 2. p. 120-142.

THEBALDI, M. S. Análise estatística da precipitação máxima diária anual da cidade de Uberaba e vazão mínima diária anual do rio Uberaba. **Revista Agrogeoambiental**. v. 4, n. 2, 2012.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centeron: Drexel Institute of Technology-Laboratory of Climatology, 1955. 104p.

TOZATO, H. C. et. al. Tendências e rupturas climato-hidrológicas no Sítio Ramsar Parna Pantanal (MT, Brasil). **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 9, v. 13, 2013.

TREVISOL, J. P; BACK, A. J. **Avaliação dos impactos da urbanização na drenagem superficial no centro de Forquilhinha, SC**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Santa Catarina – UNESC. 20p. 2012.

TRINDADE, A. L. C. **Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de dados de monitoramento de qualidade das águas superficiais da porção mineira da bacia do rio São Francisco**. 2013. 165 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/ MG.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos**. Agência Nacional de Águas – ANA. Brasília. 150 p. 2002.

_____, C. E. M. Processos hidrológicos e os impactos no uso do solo. In. TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. (Org). **Clima e Recursos Hídricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRH, 2003. V.9, p. 31-76.

_____, C. E. M; BRAGA, B. Clima e recursos hídricos. In. TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. (Org). **Clima e Recursos Hídricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRH, 2003. v. 9, p. 1-30.

TURETTA, A. P. D. **Mudanças de uso da terra em bacias hidrográficas**. Documentos, EMBRAPA solos, 2011, Rio de Janeiro. 18 p.

UBERABA. Lei nº 9.892 de 28 de dezembro de 2005. **Lei de Criação da APA do rio Uberaba**. Uberaba, Minas Gerais.

UDA, P. K. et. al. **Análise da evapotranspiração real diária para diferentes usos e coberturas do solo da bacia do rio Negrinho – SC, por meio do modelo SEBAL e imagens ASTER**. In. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 16. 2013. Foz do Iguaçu/PR. 2013.

ULIANA, E. M. et. al. Análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico. **Revista Ambiente e Água**. Taubaté. vol. 10, n. 1, p. 82-88. Mar. 2015.

VALLE JÚNIOR et. al. Diagnóstico temporal e espacial da qualidade das águas superficiais do rio Uberaba – MG. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia. v. 14, n. 45 p. 1-11. 2013.

VENDRAME, I. F.; LOPES, W. A. B. **Análise do crescimento urbano e seus efeitos na mudança da dinâmica do escoamento superficial da bacia do Pararanguaba**. In. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 12. 2005. Goiânia, GO. Brasil. 2005.

VILLANOVA, M. R. N. Tendências hidrológicas anuais e sazonais na bacia do rio Paraíbuna, Parque Estadual da Serra do Mar (SP). **Sociedade e Natureza**. v. 26, n. 2, p. 301-316, Uberlândia, 2014. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v6n32014601>

_____, M. R. N. Tendências hidrológicas na região do alto rio Mogi-Guaçu, sul de Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental**. v. 6, n. 3, p. 63-70, 2014.

ZHI, L. et. al. Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on Loess Plateau of China. **Jornal of Hydrology**. n. 377, p. 35-42, 2009.