

IV-034 - ANÁLISE DA SÉRIE TEMPORAL DA Q7 EM UMA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARAGUARI, EM MINAS GERAIS

Marina Scalia Pereira Passos⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Uberlândia.

Flavya Fernanda França Vilela⁽¹⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Uberlândia, Mestranda em Qualidade Ambiental pela Universidade Federal de Uberlândia.

Hudson de Paula Carvalho⁽¹⁾

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Uberlândia, Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras, Doutor em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ESALQ/USP, Professor Associado da Universidade Federal de Uberlândia.

Marcia Regina Batistela Moraes⁽¹⁾

Engenheira Agrônoma pela Universidade de Taubaté, Mestre em Qualidade Ambiental pela Universidade Federal de Uberlândia, Técnica Administrativa em Educação da Universidade Federal de Uberlândia.

Roberto Terumi Atarassi⁽¹⁾

Engenheiro Agrônomo pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ESALQ/USP, Mestre em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ESALQ/USP, Doutor em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ESALQ/USP, Professor Associado da Universidade Federal de Uberlândia.

Endereço⁽¹⁾: Instituto de Ciências Agrárias/ICIAG, Campus Glória, BR-050 - km 78 - Uberlândia - MG - CEP: 38410-337 - Brasil - Tel: (34) 2512-6701 - e-mail: flavya2310@ufu.br

RESUMO

O crescimento da população e conseqüentemente da demanda por recursos naturais promovem uma preocupação constante, até onde vão os limites ambientais? Dessa forma torna-se necessário criar mecanismos de gestão e monitoramento que sejam capazes de garantir o suprimento das necessidades das atuais e futuras gerações, humana e animal. Um desses mecanismos consiste na outorga de uso da água, a qual, no estado de Minas Gerais, baseia-se no valor da Q7,10, vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência. Nesse sentido o presente trabalho buscou fazer uma comparação entre a evolução do uso e ocupação do solo através do processamento digital de imagem da área de drenagem de uma estação de monitoramento fluviométrico, e a análise de sua respectiva série histórica de vazão através da média mínima de sete dias, aplicando os testes estatísticos de autocorrelação de Durbin-Watson e de estacionaridade de Mann-Kendall. A estação analisada está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari. Foi considerado o período seco de cada ano, iniciando-se na década de 70 até os dias atuais. Com isso foi possível identificar uma tendência de diminuição nas linhas de Q7 anualmente apenas para o mês de setembro, em que houve uma queda de 53,5% no valor entre os anos de 1974 e 2018, evidenciado pela linha de regressão, a qual possui um coeficiente angular igual a -0,0268, bem como na cobertura do solo por vegetação densa, a qual apresentou perda de 67,5% na área de drenagem da estação estudada.

PALAVRAS-CHAVE: Mann-Kendall, NDVI, Vazão de referência, Vegetação densa.

INTRODUÇÃO

No Estado de Minas Gerais o Plano Estadual de Recursos Hídricos, tem como objetivo estabelecer princípios básicos para o planejamento e controle adequado do uso da água no Estado, como outorga de direito e cobrança pelo uso dos recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água, através dos Planos Diretores de Recursos Hídricos - PDRHs de Bacias Hidrográficas (MINAS GERAIS, 2012; MORAES, 2016).

Almeida (2017) indica as vazões mínimas como as mais utilizadas para referência, devido sua elevada permanência no tempo. As mais empregadas são Q7,10, Q90 e Q95, que são calculadas de forma estatística a partir de dados históricos de estações fluviométricas. Somente uma porcentagem dessas vazões pode ser

utilizada, sendo a vazão remanescente equivalente à vazão ecológica, ou seja, aquela necessária para manutenção dos ciclos ecológicos (MATIAS, 2018).

Veniziani (2018), avaliando as relações entre precipitação, vazão e cobertura vegetal nas sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú, verificou a existência de correlação entre as variáveis precipitação, vazão e o NDVI, observando que nos anos considerados secos essa correlação foi mais evidente, reforçando que quanto maior a densidade de cobertura vegetal, maior a infiltração e menor o escoamento superficial, refletindo na maior disponibilidade de água.

Por outro lado, através de uma análise temporal de 76 anos (1938 a 2014), Aires *et al.* (2017) analisou o comportamento do regime de vazões do Rio Paraopeba, MG, para verificar, principalmente, o regime não estacionário do curso d'água em decorrência das modificações ocorridas na cobertura vegetal. Através dos testes de Mann Kendall e Sperman aplicados aos dados de uma estação de monitoramento localizada em Juatuba – MG, foi identificado um comportamento não estacionário no regime de vazões com tendência de redução. Porém, utilizando o Índice Vegetativo por Diferença Normalizada (NDVI), constatou o aumento das áreas com alto vigor vegetativo.

No mesmo sentido, Aires *et al.* (2017) estudando a influência da modificação da cobertura vegetal no regime de vazões na bacia do Rio Manhuaçu, MG, utilizou o método de NDVI para análise da dinâmica da cobertura vegetal. Já para caracterização do regime hidrológico utilizou o método de Mann Kendall e Pettitt para verificação da estacionaridade dos dados. Como esperado, foi constatado a tendência para redução das vazões mínimas em 6 estações estudadas.

O presente trabalho tem como objetivo principal analisar a estacionaridade nas séries de vazões Q7 de uma estação fluviométrica localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, em Minas Gerais.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área contemplada neste estudo é a bacia hidrográfica do Rio Araguari, localizada na Mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, na porção oeste do estado de Minas Gerais, sendo que grande parte da região do Triângulo Mineiro está inserida nesta bacia.

A estação fluviométrica selecionada para este estudo foi a Fazenda Letreiro (código ANA nº 60381000; área de drenagem: 777 km²). Ela foi escolhida por possuir dados de vazão armazenados no período de interesse, o qual marca o início do avanço da fronteira agrícola, no caso desde janeiro de 1970, sem interrupção até junho de 2019.

Posteriormente, com o auxílio do software para planilhas eletrônicas, os dados foram organizados de maneira a facilitar sua análise e posterior cálculo da Q7, pela média móvel de 7 dias consecutivos. Os dados de vazão de cada estação foram organizados cronologicamente, separados em tabelas por mês e ano.

Assim, foram selecionadas as menores médias móveis de cada mês de todos os anos considerados. De posse desses dados montou-se os gráficos de dispersão mês a mês, sendo os dados de vazão (Q7) dispostos no eixo Y e os anos dispostos no eixo X, sendo, então, possível analisar o comportamento da linha de tendência das Q7 mensais, podendo avaliar se houve queda ou aumento da menor média de vazão durante 7 dias consecutivos com o passar dos anos para cada mês.

A verificação da estacionaridade da série temporal de vazão mínima de sete dias (Q7) foi realizada por meio do teste estatístico Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975). Esse teste considera (x_1, \dots, x_n) uma amostra de valores independentes de uma variável aleatória 'x' da qual se deseja avaliar o estacionaridade. A hipótese nula H_0 é a hipótese de estacionaridade da série (sem tendência). Por outro lado, a hipótese alternativa H_1 , corresponde à não estacionaridade. A estatística Mann-Kendall é definida por meio das Equações 1, 2, 3 e 4.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad \text{Eq. 1}$$

$$sgn = (x_j - x_i) = \begin{cases} +1 \text{ se } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 \text{ se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 \text{ se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad \text{Eq. 2}$$

$$var(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5) \right] \quad \text{Eq. 3}$$

$$z = \begin{cases} \frac{(S-1)}{\sqrt{var(S)}} \text{ se } S > 0 \\ 0 \text{ se } S = 0 \\ \frac{(S+1)}{\sqrt{var(S)}} \text{ se } S < 0 \end{cases} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde: S = estatística Mann-Kendall (se positivo, indica tendência crescente, se negativo, indica tendência decrescente), adimensional; sgn = simbologia da função sinal; x_k e x_i = vazões Q7 da série temporal, em $m^3 s^{-1}$; n = o tamanho da série de dados, em anos; m = número de grupos empatados; t_i = número de vezes (frequência) que a classificação t é verificada; z = estatística de teste de Mann-Kendall (verifica se há estacionaridade na série temporal ou não), adimensional.

O teste de Mann-Kendall é usado para determinar se uma série temporal tem uma tendência monotônica para cima ou para baixo. Não requer que os dados sejam normalmente distribuídos ou lineares. Contudo, para sua aplicação é exigido que não haja autocorrelação entre os dados de vazão da série analisada. Para investigar se existiu ou não a autocorrelação, neste trabalho foi usado o teste de Durbin-Watson (Equação 5) (HILBE, 2014). Segundo Hilbe (2014), o teste mais frequentemente usado para autocorrelação temporal de primeira ordem é o teste de Durbin-Watson. De acordo com o autor, ele não pode ser usado para testar a autocorrelação temporal de ordem superior.

$$D_s = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} \quad \text{Eq. 5}$$

Onde: D_s = estatística Durbin-Watson, adimensional; e_i = resíduo da i ésima vazão Q7, em $m^3 s^{-1}$; n = número de anos da série temporal.

A estatística D_s assume valores entre 0 e 4. Um valor de D_s igual ou próximo de 2 significa que não há autocorrelação. Um valor substancialmente abaixo de 2 (e especialmente um valor menor que 1) significa que os dados são positivamente autocorrelacionados, ou seja, em média, um elemento de dados está próximo do elemento de dados subsequente. Um valor de D_s substancialmente acima de 2 significa que os dados são negativamente autocorrelacionados, ou seja, em média, um elemento de dados está longe do elemento de dados subsequente.

Nesse sentido, e utilizando a extensão Real Statistics do software Excel, inicialmente foram aplicados os testes de Durbin-Watson nas séries temporais de vazão Q7 e, se verificado a autocorrelação, foi aplicado o teste de Mann-Kendall por meio do qual buscou-se identificar a presença ou não de estacionaridade da série temporal. Se verificada a não estacionaridade procedeu-se a elaboração do mapa de uso do solo nos anos de 1986, 1996, 2006, 2016 e 2019, por meio do cálculo do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Assim, foi possível verificar a evolução do uso e ocupação do solo na área de influência da estação fluviométrica estudada, e comparar esse comportamento, com o resultado oriundo do teste estatístico que avaliou a estacionaridade da vazão Q7 na citada estação.

RESULTADOS

Os resultados dos testes aplicados estão dispostos na Tabela 1. Analisando a referida tabela, nota-se aprovação no teste de autocorrelação somente para as vazões Q7 calculadas para os meses de setembro e outubro. Contudo, para o teste de Mann-Kendall, o qual avalia a estacionaridade da série histórica, nota-se que os dados de julho, agosto e setembro foram aprovados. Ao juntar os dois resultados, percebe-se, para a estação fluviométrica Fazenda Letreiro, que a aprovação total foi conseguida somente para a série temporal de Q7 calculada para o mês de setembro. Outro importante ponto a destacar para esse mês, se refere à tendência descendente da série temporal (dado pelo teste Mann-Kendall), ou seja, as vazões estão diminuindo ao longo do tempo.

Tabela 1: Resultados da análise de estacionaridade da estação fluviométrica Fazenda Letreiro.

Mês	Teste Durbin-Watson		Teste Mann-Kendall			
	Ds ^b	Autocorrelação	S	z ^b	p-valor	Tendência
Maio	1,3129 ^a	Sim	-156	-1,5163 ^a	0,1294	NS
Junho	1,4116 ^a	Sim	-158	-1,5358 ^a	0,1246	NS
Julho	1,3690 ^a	Sim	-216	-2,1032 ^a	0,0354	Decrescente
Agosto	1,4178 ^a	Sim	-234	-2,2793 ^a	0,0226	Decrescente
Setembro	1,5963 ^a	Não	-232	-2,2597 ^a	0,0238	Decrescente
Outubro	1,6760 ^a	Não	-120	-1,1641 ^a	0,2444	NS

Legenda: a = alfa de 5%; b = alfa de 10%; Ds = estatística Durbin-Watson; S = estatística Mann-Kendall; z = estatística de teste de Mann-Kendall; NS = não significativa pelo teste de Mann-Kendall

DISCUSSÃO

Os dados de setembro da estação fluviométrica Fazenda Letreiro foram sintetizados na Figura 1. Analisando essa figura, nota-se que as colunas verdes representam a mínima Q7 obtida de cada ano e a linha tracejada laranja representa a tendência ao longo dos anos da Q7.

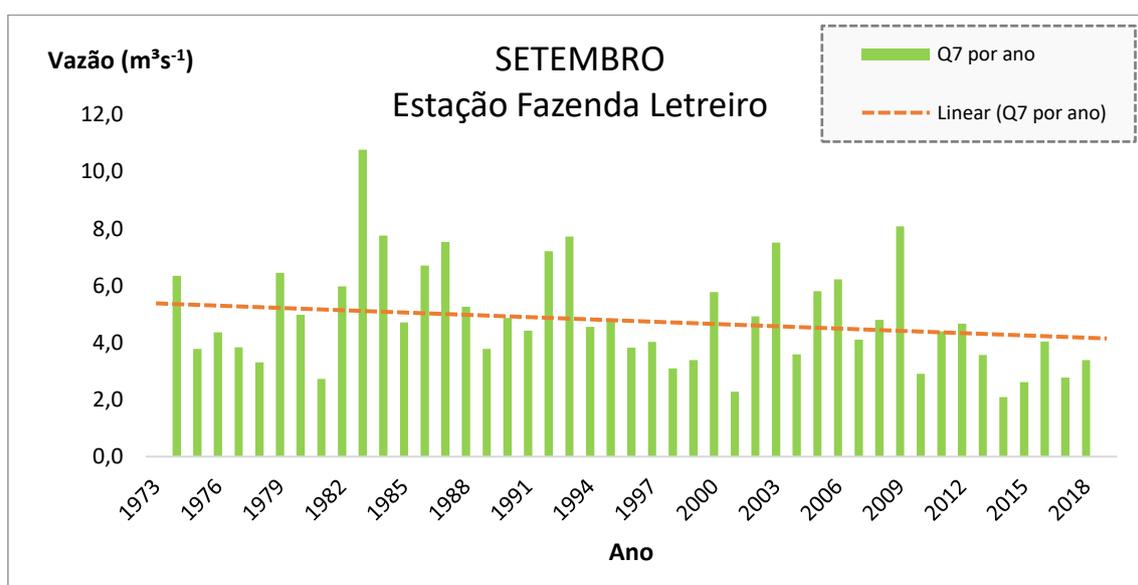


Figura 1: Dados históricos sintetizados da estação fluviométrica Fazenda Letreiro para o mês de setembro.

Em seus estudos, Aires *et al.* (2017) também verificaram por testes estatísticos a tendência de diminuição das vazões dos Rios Paraopeba e Manhuaçu. Tal decréscimo pode ser um reflexo da evolução do uso e ocupação do

solo, assim como mostrado pelo estudo de Veniziani (2018), que verificou a existência de correlação entre as variáveis precipitação, vazão e o NDVI.

A partir das imagens de satélite utilizadas nas composições RGB e posteriormente utilizadas no comparativo com o NDVI, Figuras 2, 3, 4, 5 e 6, é possível perceber que a área de contribuição da estação de monitoramento Fazenda Letreiro apresenta grandes áreas agricultáveis. Tal fato evidencia o avanço da agricultura na região e a retirada de vegetação nativa, o que favorece o escoamento superficial e a diminuição da infiltração de água no solo, podendo refletir na diminuição contínua da vazão do rio no trecho em análise.

A partir das imagens da bacia hidrográfica analisada (delimitada a partir da estação fluviométrica Fazenda Letreiro), Figuras 2, 3, 4, 5 e 6, equivalentes aos anos de 1986, 1996, 2000, 2016 e 2019, verificou-se perda de vegetação densa equivalente a aproximadamente 67,5% do total que havia em 1986 quando comparado com 2019, correlacionando-se com a tendência à diminuição da vazão ao longo do tempo, verificada anteriormente.

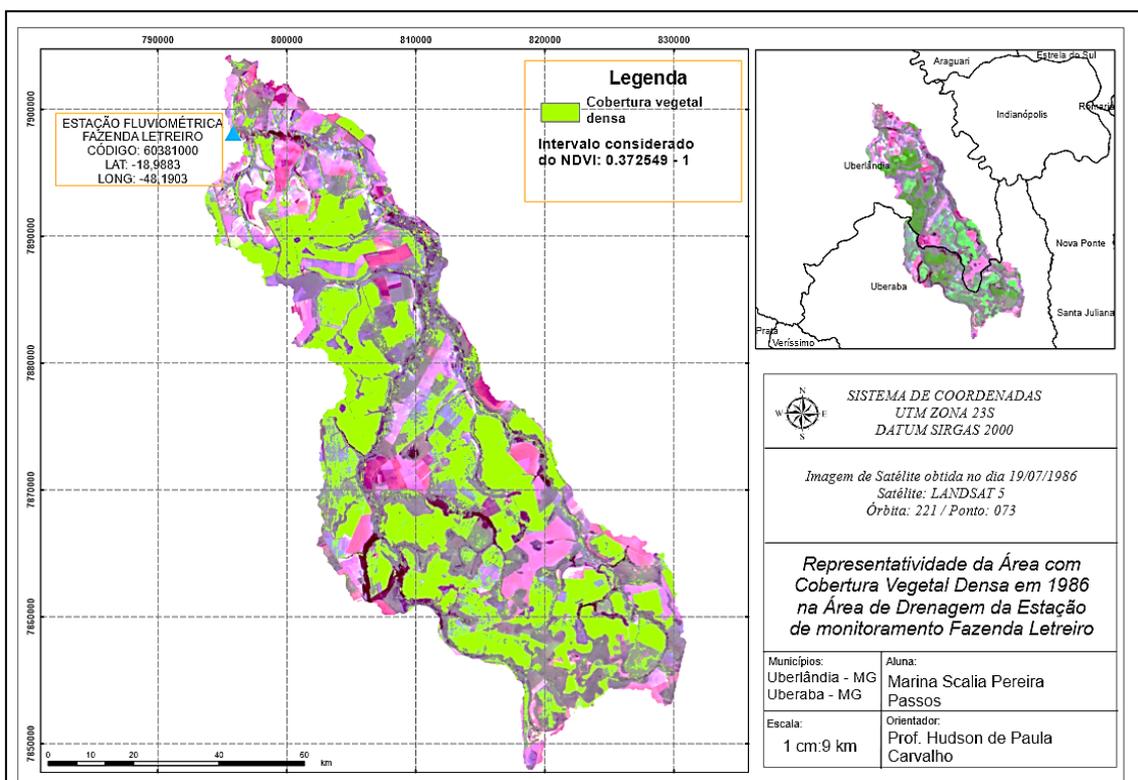


Figura 2: Imagem RGB gerada a partir de cenas do Satélite LANDSAT 5 datadas de 19/07/1986 sobreposta ao NDVI reclassificado.

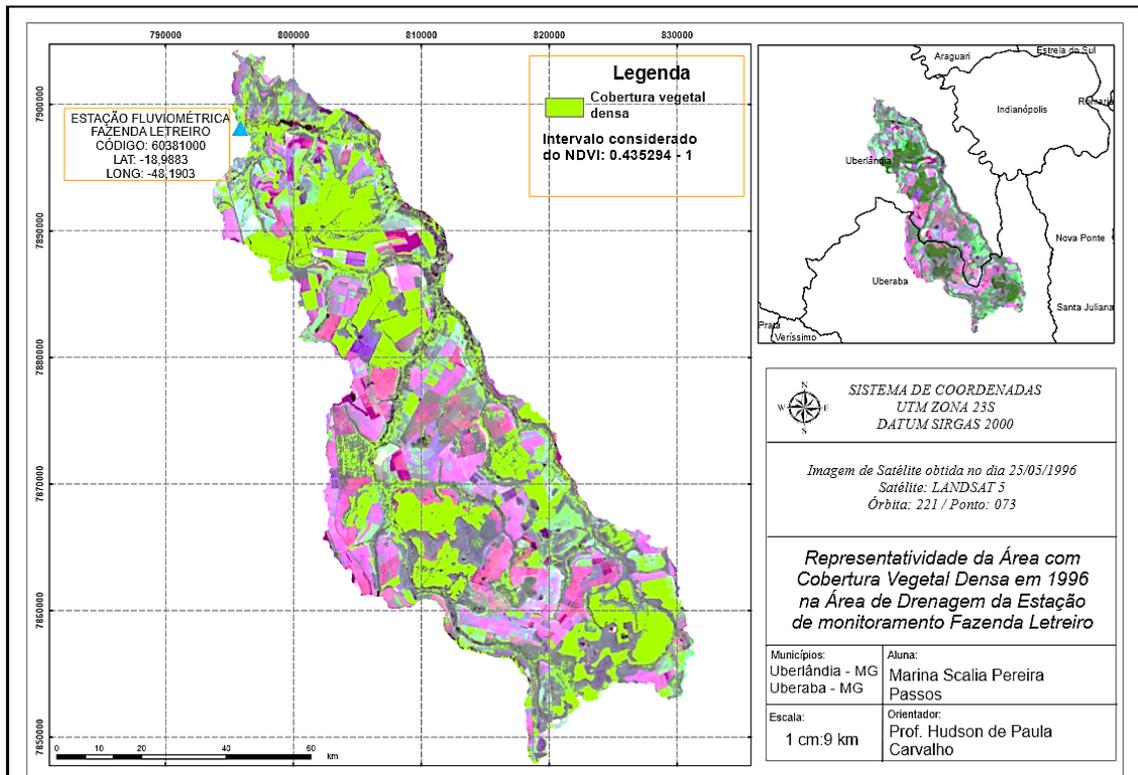


Figura 3: Imagem RGB gerada a partir de cenas do Satélite LANDSAT 5 datadas de 25/05/1996 sobreposta ao NDVI reclassificado.

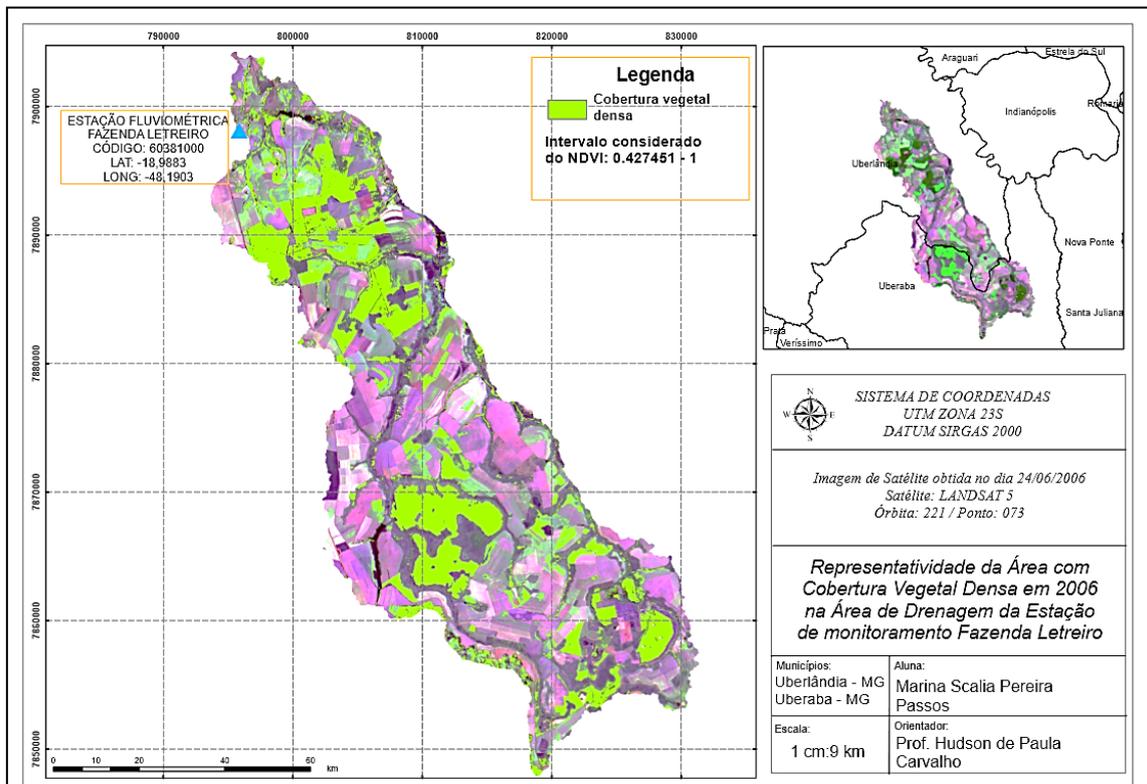


Figura 4: Imagem RGB gerada a partir de cenas do Satélite LANDSAT 5 datadas de 24/06/2006 sobreposta ao NDVI reclassificado.

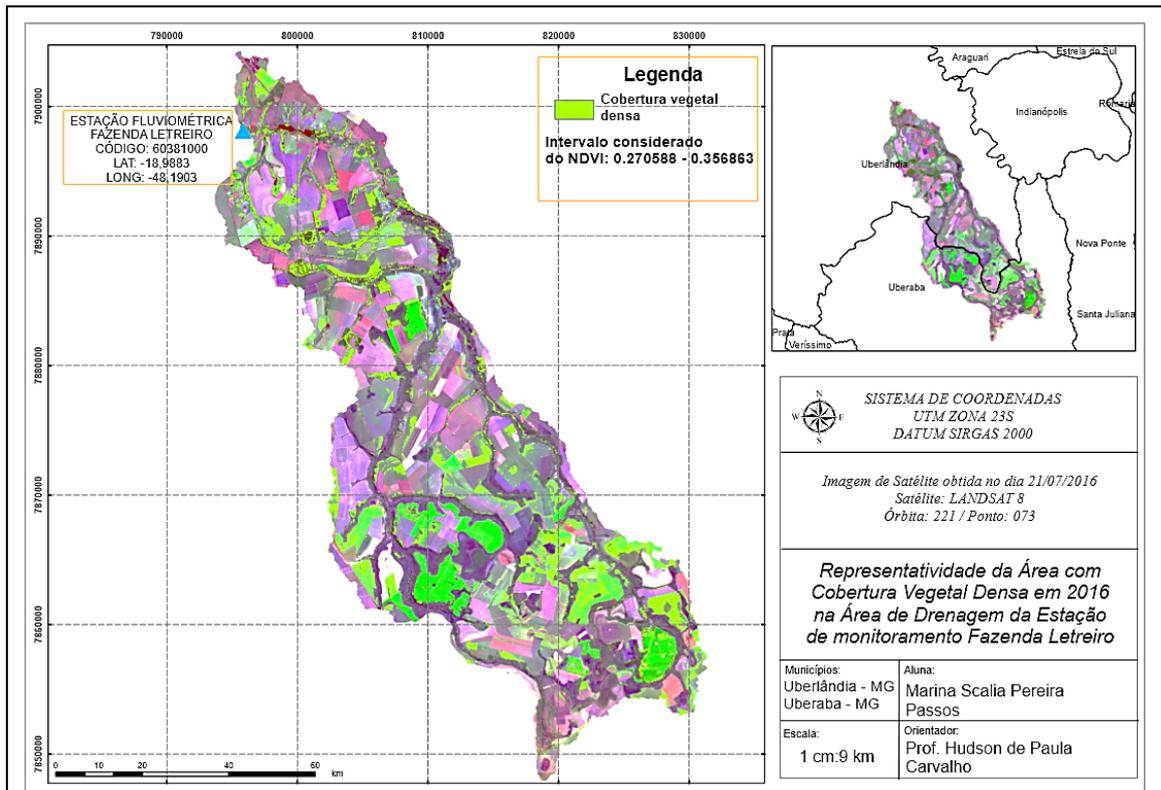


Figura 5: Imagem RGB gerada a partir de cenas do Satélite LANDSAT 8 datadas de 21/07/2016 sobreposta ao NDVI reclassificado.

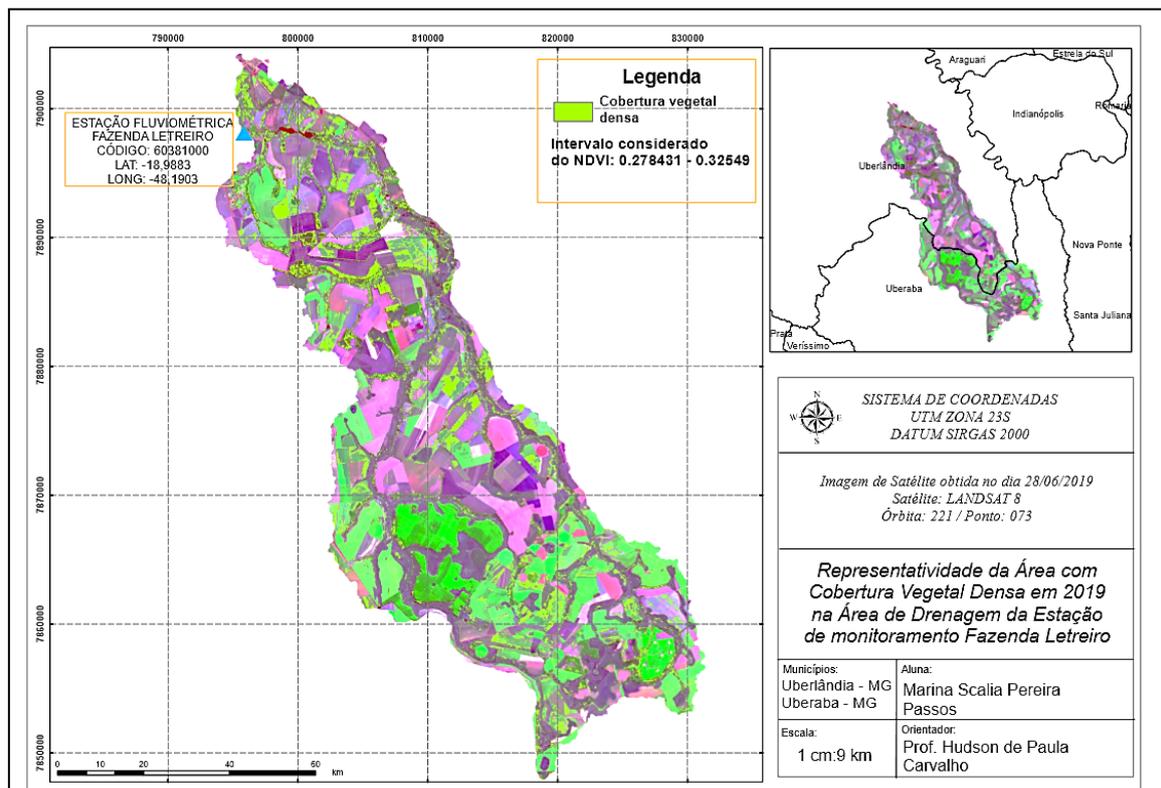


Figura 6: Imagem RGB gerada a partir de cenas do Satélite LANDSAT 8 datadas de 28/06/2019 sobreposta ao NDVI reclassificado.

CONCLUSÕES

Constatou-se tendência de diminuição das vazões Q7 somente para o mês de setembro para a estação fluviométrica Fazenda Letreiro. Foi verificada uma redução de 53,5% da Q7 entre os anos de 1974 e 2018, as quais são, respectivamente, 6,34m³/s e 3,39m³/s, também evidenciada pelo coeficiente angular da linha de tendência, o qual é igual a -0,0268. Já a perda de vegetação densa entre 1986 e 2019 foi de, aproximadamente, 67,5%, mostrando que pode haver uma correlação entre perda de vegetação e a diminuição da vazão, uma vez que a vazão do curso d'água está diretamente ligada a infiltração de água no solo e ao escoamento superficial, que por sua vez são afetados pela cobertura vegetal do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AIRES, U. R. V.; NETO, J. de O. M.; CAMPOS, J. A. Uso de NDVI para análise do comportamento do regime de vazões do Rio Paraopeba, MG. *Scientia agraria*, v. 18, n. 3, p. 8-19, 2017.
2. ALMEIDA, R. C. Memórias do rio do Monjolinho: o processo de urbanização e os impactos sobre os recursos hídricos. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
3. HILBE, J. M. *Modeling Count Data*. Cambridge University Press, Cambridge. 2014.
4. KENDALL, M. G. *Rank Correlation Methods*. 1ª Ed. Charles Griffin, London. 1975.
5. MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, p. 245-259, 1945.
6. MATIAS, F. J. N. Regionalização de vazões na bacia hidrográfica do Baixo Rio Grande-UPGRH-GD8-Uberlândia. 2018. 103 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.
7. MINAS GERAIS. SEMAD-IGAM, Resolução Conjunta nº 1548, de 29 de março de 2012; “Dispõe sobre a vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do Estado”; publicada no Diário do Executivo – “Minas Gerais” em 31/03/2012; Belo Horizonte, MG.
8. MORAES, M. R. B. Modelagem da vazão na bacia hidrográfica do rio Araguari, em Minas Gerais. 2016. 116 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.
9. VENIZIANI, J. C. T. As relações entre precipitação, vazão e cobertura vegetal nas sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú. 2018.