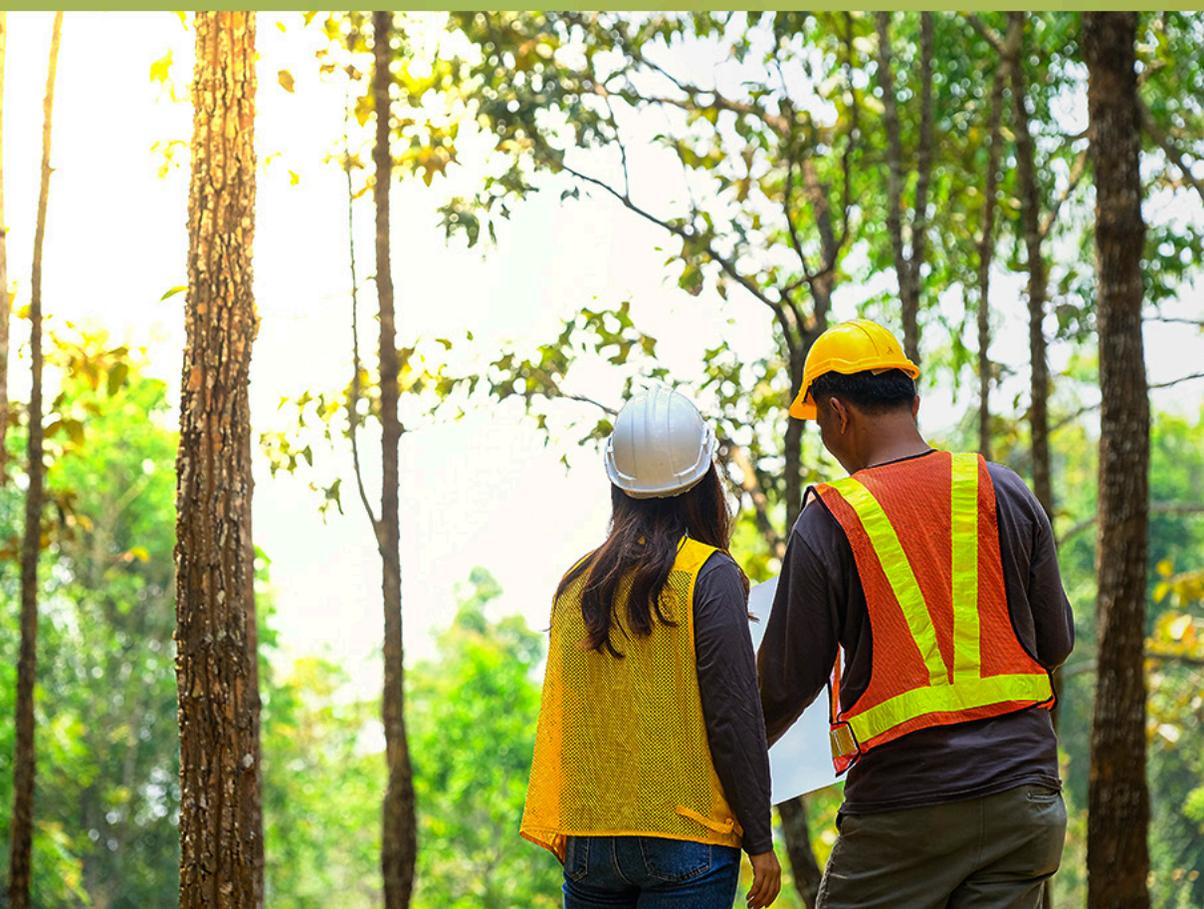


COLEÇÃO

# DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA FLORESTAL 2



FELIPE SANTANA MACHADO  
ALOYSIO SOUZA DE MOURA  
(ORGANIZADORES)

Atena  
Editora  
Ano 2022

COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

**ENGENHARIA FLORESTAL 2**



FELIPE SANTANA MACHADO  
ALOYSIO SOUZA DE MOURA  
(ORGANIZADORES)

**Atena**  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



## Coleção desafios das engenharias: engenharia florestal 2

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Bruno Oliveira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** Felipe Santana Machado  
Aloysio Souza de Moura

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia florestal 2 /  
Organizadores Felipe Santana Machado, Aloysio Souza  
de Moura. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-958-2

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.582220802>

1. Engenharia florestal. I. Machado, Felipe Santana  
(Organizador). II. Moura, Aloysio Souza de (Organizador). III.  
Título.

CDD 634.928

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

A Engenharia Florestal é uma disciplina abrangente dentro da Engenharia que aborda, de modo geral, todos os aspectos fundamentais de ambientes florestais e seu entorno, visando à produção de bens provenientes de florestas naturais ou cultivadas para suprir a demanda de seus produtos, bem como conservação e preservação de água e solo, entre outras finalidades.

No Brasil, e mesmo no mundo, a Engenharia Florestal é um segmento amplo que aborda uma grande área de atuação, e suas bagagens vão desde seu manejo, ao conhecimento e entendimento de ecologia (suas interações), até a conservação e preservação.

A Engenharia Florestal e suas linhas de pesquisa são amplamente presentes no mundo atual, pois seus produtos gerados estão intimamente ligados ao cotidiano da vida humana uma vez que não conseguimos mais prosseguir sem a presença de papel, corantes, frutos, sementes, madeira, essências de perfumes, óleos, carvão, e também na produção de mudas de árvores para a restauração de áreas já exploradas e degradadas.

Este livro “Coleção desafios das engenharias: Engenharia florestal 2” é uma iniciativa internacional entre pesquisadores do Peru, Estados Unidos e Brasil, com participação da instituição peruana “Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios”, a instituição norte-americana “University of Idaho”, e as instituições brasileiras Universidade Federal do Tocantins (UFT), Instituto Federal do Tocantins (IFT), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Federal Fluminense (UFF), Universidade Estácio de Sá (UES), Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro, (CBMERJ), Prefeitura Municipal de Nova Friburgo (PMNF RJ), Universidade de Brasília (UNB), Serviço Florestal Brasileiro (SFB), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Universidade Federal do Oeste do Pará (CJUR/UFOPA) e Universidade Federal de Viçosa (UFV). Este livro surge com a finalidade de destacar algumas linhas de estudos da Engenharia Florestal e para o entendimento deste segmento em micro, meso e macro escala. Portanto, serão apresentados estudos, revisões e relatos com o objetivo de alinhar temas relacionados à área.

As linhas de pesquisa incluem relevantes temáticas como inflamabilidade do Cerrado com algumas de suas respectivas espécies florestais, implicações na saúde pública do fogo em áreas rurais, importância de casas feitas de madeira legal para habitações sociais, uso de sensoriamento remoto para detecção de incêndios florestais, valoração da vazão de bacias hidrográficas pós-precipitação, valoração de serviços ecossistêmicos, entre outras.

Reiteramos que esta obra apresenta estudos e teorias bem fundamentadas e embasadas de forma a alcançar os melhores resultados para os propostos objetivos.

Desejamos que este livro auxilie estudantes, leigos e profissionais a alcançar excelência em suas atividades quando utilizarem de alguma forma os capítulos para atividades educacionais, profissionais ou preservacionistas.

Ademais, assim como o volume 1, esperamos que esta obra possa fortalecer o movimento das engenharias, instigando e incentivando profissionais e pesquisadores às práticas que contribuam para a melhoria do ambiente e das paisagens nos quais são objeto de estudo de engenheiros, aos estudantes de engenharia e demais interessados.

Felipe Santana Machado

Aloysio Souza de Moura

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **OS INCÊNDIOS FLORESTAIS NA ÁREA RURAL E SUAS IMPLICAÇÕES NA SAÚDE PÚBLICA**

Alexandre Diniz Breder  
Amanda Almeida Fernandes Lobosco  
Humberto Rodrigues Delegave Moura  
Rodrigo Cosendey Maia  
Viviane Faria Novaes  
Janaina Luiza dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5822208021>

### **CAPÍTULO 2..... 9**

#### **INFLAMABILIDADE DE ESPÉCIES VEGETAIS DO CERRADO *STRICTO SENSU* NA REGIÃO SUL DO TOCANTINS**

Wádilla Morais Rodrigues  
Maria Cristina Bueno Coelho  
Marcos Giongo  
Max Vinícios Reis de Sousa  
Bonfim Alves Souza  
Yandro Santa Brigida Ataide  
Francisca de Cássia Silva da Silva  
Mauro Luiz Erpen  
Maurílio Antonio Varavallo  
Juliana Barilli  
Damiana Beatriz da Silva  
André Ferreira dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5822208022>

### **CAPÍTULO 3..... 19**

#### **DETECCIÓN DE FOCOS DE CALOR MEDIANTE SENSORES REMOTOS EN BOSQUES DE LA PROVINCIA DE TAHUAMANU, AMAZONIA PERUANA (2017-2019)**

Carlos Nieto Ramos  
Marx Herrera-Machaca  
Jorge Garate-Quispe

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5822208023>

### **CAPÍTULO 4..... 28**

#### **VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES DEL BOSQUE EN LA COMUNIDAD INDÍGENA EL PILAR, TAMBOPATA, AMAZONIA PERUANA**

Marx Herrera-Machaca  
Wiliam Oliver Capa Moscoso  
Sufer Baez Quispe  
Karina Otsuka-Barriga  
Víctor Pareja-Auquipata  
Gabriel Alarcon Aguirre

Jorge Garate-Quispe

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5822208024>

**CAPÍTULO 5..... 40**

**IMPACTOS DA PRECIPITAÇÃO E DO USO DO SOLO NAS TENDÊNCIAS DAS VAZÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CASTELO**

Breno da Silva Oliveira

Roberto Avelino Cecílio

David Bruno de Sousa Teixeira

Guilherme Barbosa Reis

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5822208025>

**CAPÍTULO 6..... 54**

**CARACTERIZAÇÃO DE HABITAÇÕES SOCIAIS EDIFICADAS NO MUNICÍPIO DE PIMENTA BUENO, ESTADO DE RONDÔNIA, AMAZÔNIA OCIDENTAL, BRASIL, A PARTIR DO PROJETO HABITAÇÃO POPULAR EM MADEIRA**

Maria de Fátima de Brito Lima

Divino Eterno Teixeira

Álvaro Nogueira de Souza

Cecília Manavella

Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Luís Antônio Coimbra Borges

Peter Wimmer

Júlio Eustáquio de Melo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5822208026>

**CAPÍTULO 7..... 67**

**BIOMASSA MICROBIANA E RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL EM ÁREAS DE MINERAÇÃO DE BAUXITA NO BAIXO AMAZONAS**

Damares Azevedo da Silva

Rebeca Laís Cândia dos Santos

Joelma Lourenço Pereira Mendes

Fabiola Ribeiro da Silva e Silva

Jonathan Correa Vieira

Yves Caroline Andrade dos Santos

Eulina Brito Marinho

Márcia da Silva Pereira

Iolanda Maria Soares Reis

Mateus Alves de Sousa

Dayse Drielly Souza Santana Vieira

Celeste Queiroz Rossi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5822208027>

**CAPÍTULO 8..... 77**

**DINÂMICA DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL EM ÁREAS DE MINERAÇÃO DE BAUXITA NO BAIXO**

## AMAZONAS

Jonathan Correa Vieira  
Yves Caroline Andrade dos Santos  
Damares Azevedo da Silva  
Rebeca Laís Cancio dos Santos  
Frances Marques Moreira  
Inês Ariane de Paiva Cândia  
Ingrid Souza de Andrade  
Andreysse Castro Vieira  
Luiz Alberto da Silva Rodrigues Pinto  
Marcos Gervasio Pereira  
Dayse Drielly Souza Santana Vieira  
Celeste Queiroz Rossi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5822208028>

**SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 89**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 90**

## IMPACTOS DA PRECIPITAÇÃO E DO USO DO SOLO NAS TENDÊNCIAS DAS VAZÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CASTELO

*Data de aceite: 01/02/2022*

*Data de submissão: 03/12/2021*

### **Breno da Silva Oliveira**

Universidade Federal do Espírito Santo  
Alegre – ES  
<http://lattes.cnpq.br/3984637847075867>

### **Roberto Avelino Cecílio**

Universidade Federal do Espírito Santo  
Alegre – ES  
<http://lattes.cnpq.br/5497084995510727>

### **David Bruno de Sousa Teixeira**

Universidade Federal de Viçosa  
Viçosa – MG  
<http://lattes.cnpq.br/5227260851683986>

### **Guilherme Barbosa Reis**

Universidade Federal do Espírito Santo  
Alegre – ES  
<http://lattes.cnpq.br/9426630666791133>

**RESUMO:** A disponibilidade de recursos hídricos do mundo está associada ao uso do solo e sua cobertura, e também à variabilidade da precipitação, em especial, expressando essa associação no regime de vazões das bacias hidrográficas. A bacia hidrográfica do rio Castelo é a principal fonte de água do município, onde as atividades socioeconômicas são baseadas na agropecuária. O trabalho teve por objetivo caracterizar e analisar os impactos causados pela precipitação sobre as tendências temporais das vazões média e mínimas registradas na

bacia do rio Castelo-ES. Aplicaram-se nas séries de dados hidrológicos de chuva e vazão (período entre 1964 e 2014) os testes estatísticos de Mann-Kendall, para identificação da tendência; Pettitt, para identificação do ponto de mudança; e Spearman rho, para identificação da força de correlação entre duas variáveis. Há tendência na vazão média mensal para os meses de Julho, Agosto e Setembro, houve ponto de mudança nas séries históricas da vazão média mensal para os meses de Julho, Agosto, Setembro e Outubro. A vazão mínima da média para sete dias consecutivos apresentou ponto de mudança.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bacias hidrográficas, precipitação, vazão, hidrologia estatística.

### IMPACTS OF PRECIPITATION AND LAND USE IN THE FLOW TRENDS IN THE CASTELO RIVER HYDROGRAPHIC BASIN

**ABSTRACT:** The availability of water resources in the world is associated with the land use and cover, and also the variability of precipitation, in particular, expressing this association in the flow regime of the hydrographic basins. The Castelo River hydrographic basin is the main source of water in the municipality, where socioeconomic activities are based on farming. The work aimed to characterize and analyze the impacts caused by precipitation on the temporal trends of the average and minimum flows recorded in the Castelo river basin. The Mann-Kendall statistical tests were applied to the series of hydrological data on rainfall and flow (the period between 1964 and 2014) to identify the trend; Pettitt, for identification of the change point; and Spearman

rho, to identify the strength of correlation between two variables. There is a trend in the monthly average flow for July, August and September, there was a point of change in the historical series of the monthly average flow for July, August, September and October. The mean minimum flow for seven consecutive days showed a change point.

**KEYWORDS:** River basins, precipitation, flow, statistical hydrology.

## 1 | INTRODUÇÃO

O regime de vazões é um dos componentes específicos do ciclo hidrológico que possui grande potencial de mudança de comportamento ao longo do tempo, provocando impactos generalizados sobre os demais recursos naturais (ZHANG et al., 2008; MILLY et al., 2008). Geralmente, a população em geral (sendo essa englobando propriedades rurais e indústrias) assume que a água estará sempre a disposição de todos em quantidade e qualidade, mas as séries hidrológicas em especial a vazão, mostra que não necessariamente se mantiveram em condições normais que possam assegurar qualidade e quantidade hídrica.

Tendências de aumento da vazão podem ocorrer devido fatores como o aumento da precipitação (Zhang & Schilling, 2006) e também pelo desmatamento que causa drástico decréscimo na evapotranspiração e na infiltração de água no solo, elevando o escoamento superficial da chuva. De maneira oposta, o decréscimo da precipitação pode acarretar tendência de redução da vazão, bem como o reflorestamento inadequado, a intensificação do uso da água para irrigação e o aumento da população (TAO et al., 2011).

A Bacia hidrográfica do rio Castelo tem importância para a região pois é a única que alimenta os corpos hídricos da maior parte dos municípios do Sul do Espírito Santo, sendo as atividades econômicas da região baseada na agropecuária e dependem diretamente do estado em que se encontra o corpo hídrico da região. De acordo com Gonçalves (2020), a agropecuária representa mais de 50% do uso do solo na bacia hidrográfica do rio Itapemirim e há aumento da população residente na área da Bacia hidrográfica do rio Castelo.

Distinguir e analisar variações espaço-temporais dentro de uma bacia é uma tarefa importante para identificar as possíveis tendências nas séries históricas da vazão, visando o manejo e controle adequado dos usos múltiplos da água, além da própria manutenção do rio. Nesse contexto, o presente trabalho teve por objetivo caracterizar e analisar os impactos causados pela precipitação e pelo uso do solo sobre as tendências temporais das vazões média e mínimas registradas na bacia do rio Castelo, através de testes estatísticos.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

Os dados pluviométricos e fluviométricos foram obtidos pelo banco de dados históricos da ANA, disponíveis na plataforma HidroWeb. Para a seleção das estações fluviométricas, Seyam e Otham (2015) recomendam que estas possuam séries históricas com mais de 50

anos. Para as estações pluviométricas foi adotado o mesmo critério. Os anos hidrológicos que apresentaram mais que 5% de falha foram eliminados. Foi selecionada a estação fluviométrica 57490000 que possui registro de vazões a partir do ano 1964 e utilizou-se o software SisCAH para tabulação dos dados da vazão, sendo calculadas a vazão média ( $Q_{média}$ ) e mínima das médias de sete dias consecutivos ( $Q_7$ ).

As estações pluviométricas selecionadas para o cálculo da precipitação média foram as de código 02041002; 02041011 e 02041020. Foram calculadas as precipitações totais do semestre mais seco (Pss); do semestre mais chuvoso (Psc); do inverno austral (Pia); do verão austral (Pva); do mês mais seco (Pms) e do mês mais chuvoso (Pmc). Para isso, foram coletadas as séries históricas das estações pluviométricas e a área de influência de cada estação, bem como a precipitação média na bacia hidrográfica do rio Castelo-ES (Figura 1) foram calculadas através do software QGis 3.16.0, aplicado o método dos polígonos de Thiessen.

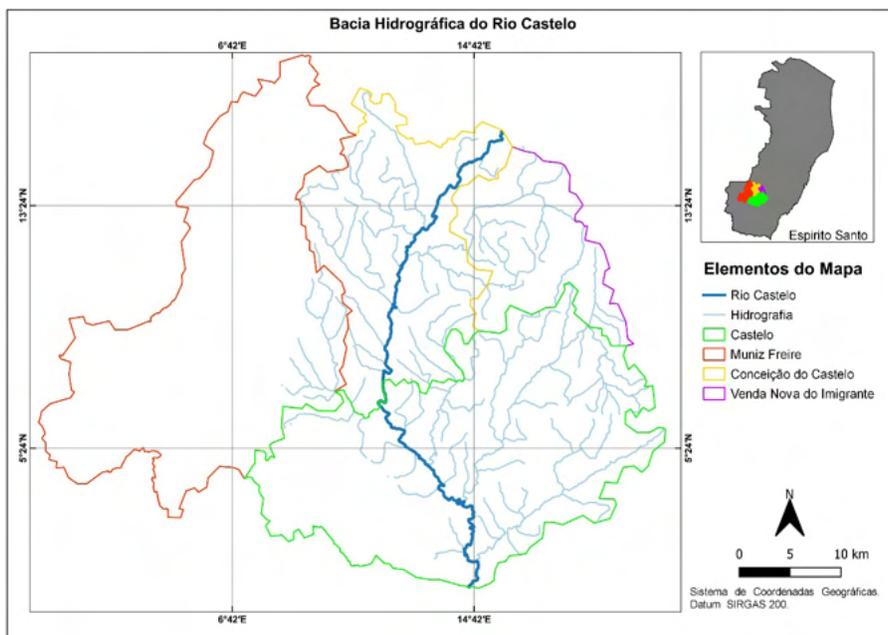


Figura 1: Bacia Hidrográfica do rio Castelo

Fonte: o autor

Através do software Microsoft Excel (2016) foram utilizados os testes não paramétricos de Mann-Kendall, que identifica quais são as tendências dos dados (crescentes ou decrescentes), de Pettitt, que identifica em qual período houve o ponto de mudança na série analisada (LI et al., 2016; MORAES et al., 1998; SEYAM; OTHMAN, 2015). Foi adotado, para a aplicação dos testes, um nível de significância ( $\alpha$ ) de 5%.

Para medir a força da correlação entre os dados de vazão e precipitação foi aplicado o teste de Spearman. O coeficiente de correlação de Spearman varia de -1 a +1, sendo que os valores que atingirem +1 ou -1, apresentam perfeita correlação, valores que se aproximam de zero, apresenta fraca correlação ou inexistente (BASARIN et al., 2016).

Calcula-se o coeficiente de correlação de Spearman através da Equação 1:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{(n^3 - n)} \quad (1)$$

Em que:  $\rho$  é o coeficiente de correlação de Spearman;  $n$  é o número de valores em cada uma das duas variáveis na correlação;  $d$  é a diferença classificada entre os postos das variáveis no nível  $i$ .

A interpretação dos resultados do coeficiente de correlação de Spearman é feita conforme apresentado na Tabela 1.

Valor de Spearman rho (+ ou -)	Interpretação
0,00 a 0,19	Correlação muito fraca
0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

Tabela 1. Interpretação do coeficiente de correlação de Spearman Rho.

Fonte: Adaptado de Shimakura (2006).

Para a aplicação do teste de Mann-Kendall os dados devem ser independentes e aleatórios (YU; ZOU; WITTEMORE, 1993). Considerando-se este pressuposto, a formulação matemática do método pode ser descrita pelas estatísticas  $S$ ,  $Var(S)$  e índice  $Z_{MK}$ , conforme equações 2 e 3:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n sign(x_j - x_k) \quad (2)$$

$$sgn(x_j - x_k) = \begin{cases} +1, & se (x_j - x_k) > 0 \\ 0, & se (x_j - x_k) = 0 \\ -1, & se (x_j - x_k) < 0 \end{cases}$$

$$Var(S) = \frac{[n(n-1)(2n+5)] - \sum_{i=1}^n t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (3)$$

Em que:  $S$  é a estatística do teste de Mann-Kendall, que representa o somatório da diferença par a par de todos os valores da série ( $X_i$ ) em relação a seu valor futuro ( $X_k$ );  $n$  é o número de registros do conjunto de dados;  $X_j$  e  $X_k$  são os valores de dados sequenciais; e  $t_i$  é o número de valores iguais para um dado valor  $i$  da série.

Valores de  $Z_{MK}$  positivos indicam tendência de aumento, ao passo que valores

negativos indicam tendência de redução. O cálculo do índice ZMK é feito pela equação 4:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

O p-valor para o teste de Mann-Kendall foi estimado usando uma função de distribuição normal cumulativa, de acordo com as equações:

$$p = 0,5 - \Phi(|Z_{MK}|) \quad (5)$$

$$\Phi(|Z_{MK}|) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{|Z_{MK}|} e^{-t^2/2} dt \quad (6)$$

A um nível de significância de 5%, se p-valor  $\leq 0,05$ , a existência de tendência foi considerada estatisticamente significativa.

A magnitude da tendência nos dados é estimada pela inclinação de Sen (Sen, 1968). A inclinação de todos os pares é estimada através de:

$$\beta = \text{mediana} \left[ \frac{X_j - X_k}{j - k} \right] \text{ para todo } k < j \quad (7)$$

Em que:  $\beta$  é a declividade da reta de tendência, j e k são o tempo de ocorrência dos valores da série; e  $X_i$  e  $X_j$  são os valores das séries nos tempos i e j.

Para identificar o ponto de mudança, foi utilizado o teste de Pettitt. A hipótese nula deste teste  $H_0$  diz que as observações são independentes e identicamente distribuídas, ou seja, não há ponto de mudança na série. Caso haja duas amostras discriminadas de populações diferentes, o teste identifica o ponto de ruptura. A estatística do teste ( $U_{t,N}$ ) pode ser determinada pela equação 8:

$$U_{t,N} = U_{t-1,N} + \sum_{j=1}^N \text{sgn}(x_t - x_j) \quad \text{para } t = 2, \dots, N \quad (8)$$

Em que: N é o tamanho da série; t e j são as posições dos valores na série;  $x_t$  e  $x_j$  são os valores das séries nos tempos t e j; e sgn é o sinal da operação ( $x_t - x_j$ ).

O possível ponto de mudança da série é dado pela estatística  $K_{(t)}$ , que representa o valor máximo absoluto de  $U_{t,N}$ . Dessa forma, a estatística  $K_{(t)}$ , representa o ponto de ruptura da série a um nível de significância p, de acordo com as equações:

$$k_{(t)} = \max_{1 \leq t \leq N} |U_{t,N}| \quad (9)$$

$$\rho \cong 2 \exp \left\{ \frac{-6(k_t^2)}{(N^3 + N^2)} \right\} \quad (10)$$

Em que: p é o nível de significância;  $K_t$  é o valor crítico; N é o número de anos da série histórica. Se p for menor que o nível de significância adotado (5%), a hipótese nula é rejeitada.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

É possível observar o comportamento mensal da precipitação referente ao período de 1964-2014 na Figura 2. Segundo Uliana, et al. (2013) os meses mais chuvosos para o estado do Espírito Santo são os meses de outubro a abril e os meses mais secos são os meses de maio a setembro, o que corrobora com as análises feitas neste trabalho, onde o mês que apresentou maior total de precipitação foi o mês de dezembro e o mês com menor total de precipitação foi o mês de junho.

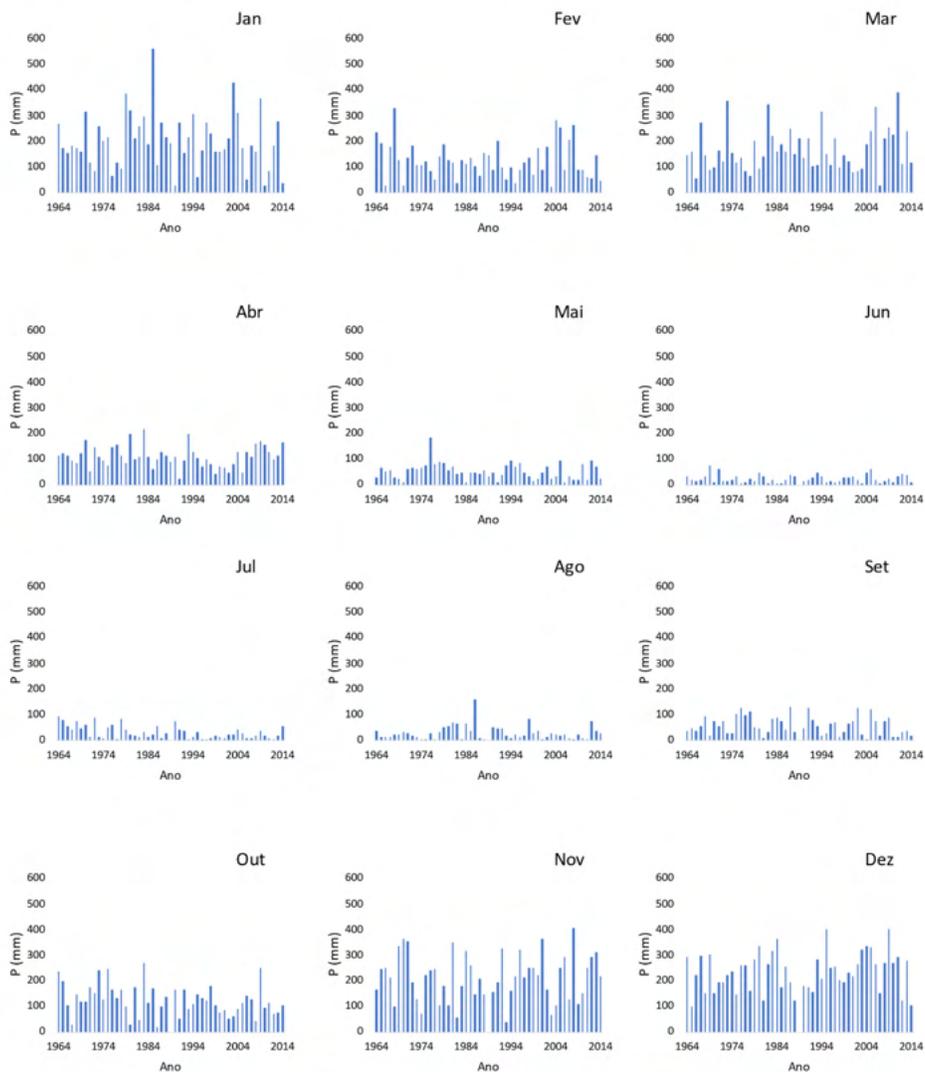


Figura 2. Precipitação mensal para a Bacia hidrográfica do rio Castelo.

Fonte: Produção do próprio autor.

Na Figura 3 observa-se os dados referentes ao comportamento da precipitação anual. Os anos que apresentaram maiores totais de precipitação foram os anos de 1983 e 2009, sendo o ano com menor total de precipitação o ano de 1989.

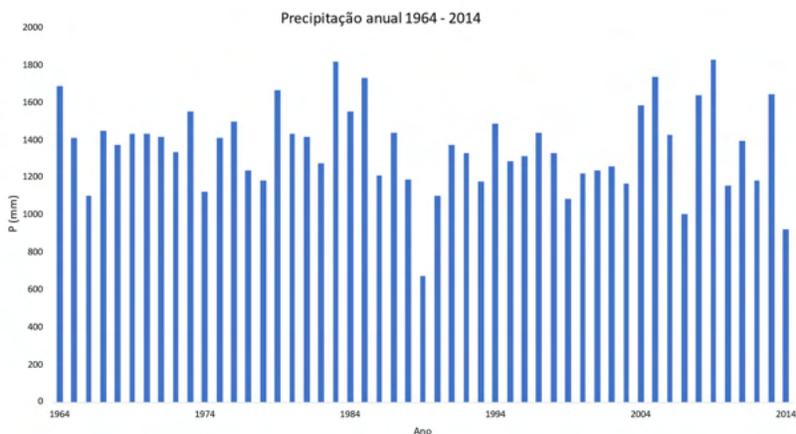
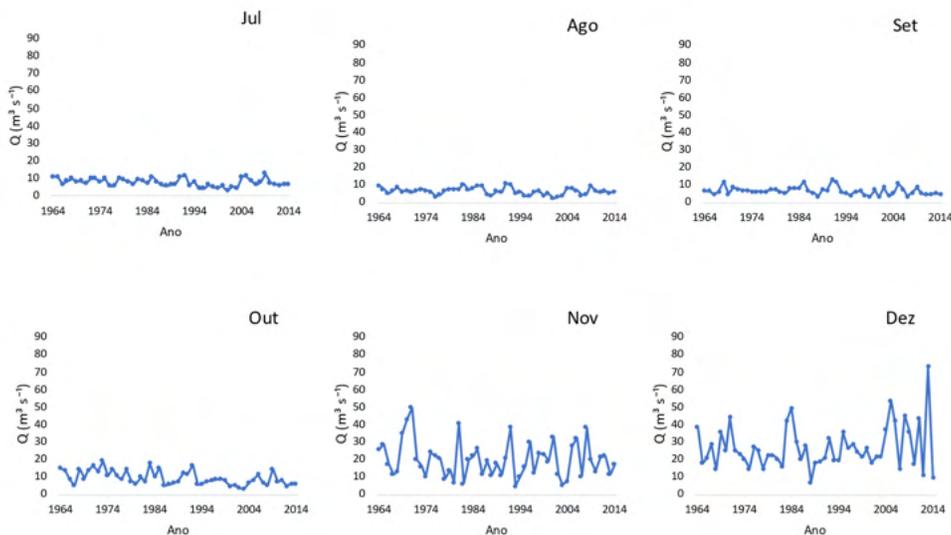


Figura 3. Precipitação anual para a Bacia hidrográfica do Rio Castelo.

Fonte: Produção do próprio autor.

Observa-se que os meses de dezembro e janeiro (Figura 4) são os meses com os maiores valores de vazão média. Já nos meses de maio até setembro há um período de estiagem na região, onde foram registrados os menores valores de vazão média.



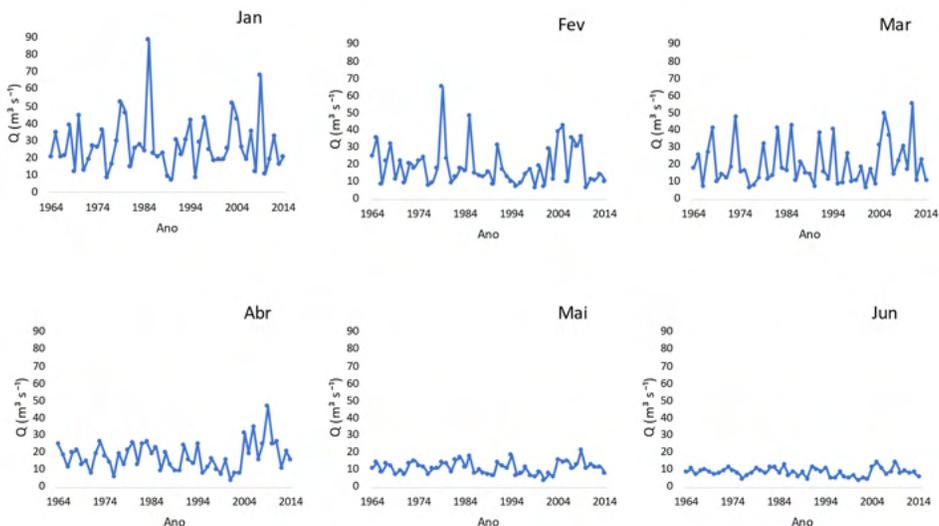


Figura 4. Vazão média mensal para a estação 57490000.

Fonte: Produção do próprio autor.

Na Figura 5 pode-se observar o comportamento hidrológico para a vazão máxima anual, vazão mínima média de 7 dias consecutivos e vazão média anual, referentes ao período de 1964-2014. Os anos com menor vazão máxima anual são os mesmos anos que apresentaram menores precipitações anual (Figura 3). Destaque para o ano de 2009 que apresentou vazão máxima próximo a  $280 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e teve precipitação anual próxima a 1.800 mm, os anos que apresentaram menor total de precipitação anual (Figura 3) são os mesmos anos que apresentam menor total de vazão mínima média de 7 dias (Figura 5), a vazão média seguiu o comportamento dos dados de vazão apresentados nas figuras anteriores, apresentando menores valores de vazão média anual nos mesmos anos em que houve menor total de precipitação anual. Este comportamento sugere uma relação da precipitação com a magnitude das vazões na bacia do rio Castelo.

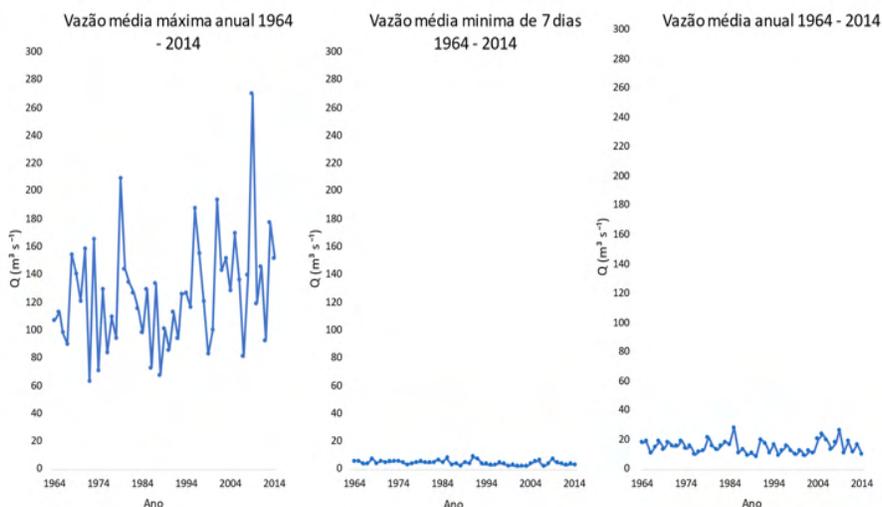


Figura 5. Vazão máxima média anual, vazão mínima média de 7 dias, vazão média anual para a estação 5749000.

Fonte: Produção do próprio autor.

O resultado do teste de correlação entre as variáveis de precipitação e vazão é apresentado na Tabela 2.

Local	Vazão média anual (Qm)	Vazão mínima anual (Q7)						
		Pa	Psc	Pss	Pva	Pia	Pmc	Pms
Bacia Rio Castelo	0,75	0,47	0,32	0,42	0,29	0,30	0,03	-0,02

Tabela 2. Valores do coeficiente de Spearman Rho entre precipitação e vazão.

Fonte: Produção do próprio autor.

Através dos coeficientes de correlação de Spearman obtidos, é possível analisar a força de correlação entre as variáveis. As correlações entre Psc x Q7, Pva x Q7 e Pia x Q7 foram classificadas como correlação fraca, as correlações entre Pa x Q7 e Pss x Q7 foram classificadas como correlação moderada, a correlação entre Pa x Qm foi classificada como correlação forte, nas análises de correlação da Pms x Q7 e Pmc x Q7, resultaram em uma correlação muito fraca, afirmando que não há correlação entre as variáveis analisadas.

Os resultados do teste estatístico de Mann-Kendall para os dados de precipitações e vazões médias mensais e anual na bacia do rio Castelo são apresentados na Tabela 3.

Período	Precipitação			Vazão		
	$Z_{MK}$	p-valor	Sen (mm ano <sup>-1</sup> )	$Z_{MK}$	p-valor	Sen (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> . ano <sup>-1</sup> )
Jan	-0,0431	0,6610	-0,3745	-0,0204	0,8391	-0,0200
Fev	-0,1184	0,2231	-0,8994	-0,1263	0,1938	-0,1066
Mar	0,0871	0,3716	0,7280	0,0353	0,7208	0,0310
Abr	-0,0133	0,8966	-0,0707	0,0133	0,8966	0,0057
Mai	-0,1027	0,2910	-0,3601	-0,0337	0,7330	-0,0151
Jun	-0,0133	0,8966	-0,0155	-0,0714	0,4648	-0,0181
Jul	-0,2894	0,0028	-0,7336	-0,2329	0,0162	-0,0604
Ago	-0,0039	0,9741	-0,0133	-0,1624	0,0943	-0,0306
Set	-0,1200	0,2170	-0,3980	-0,1984	0,0407	-0,0400
Out	-0,2267	0,0193	-1,3173	-0,3475	0,0003	-0,1340
Nov	0,0541	0,5807	0,3220	-0,0651	0,5054	-0,0638
Dez	0,1373	0,1576	1,1546	0,0447	0,6492	0,0568
Anual	-0,1137	0,2422	-2,6173	-0,0628	0,5211	-0,0325

Tabela 3. Valores do teste de Mann-Kendall ( $Z_{MK}$ ) para precipitações mensais e anual, com p-valor associado e declinações das tendências

Fonte: Produção do próprio autor.

O teste de tendência para a bacia do Rio Castelo não foi significativo, pois p-valor foi maior que 0,05, logo, não há tendência significativa na série. O teste de tendência para as precipitações mensais mostrou apenas dois resultados significativos, indicando tendência de redução nos dados das séries no mês de Julho e no mês de Outubro, com uma declinação de Sen de -0,7336 mm.ano<sup>-1</sup> para o mês de Julho e -1,3173 mm.ano<sup>-1</sup> para o mês de Outubro (tabela 3).

As vazões médias nos meses de Julho, Setembro e Outubro também apresentaram tendência significativa de redução no teste, com p-valor menor que 0,05 e uma declinação de Sen de -0,0604 m<sup>3</sup>. s<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para Julho; -0,04 m<sup>3</sup>. s<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para Setembro e -0,1340 m<sup>3</sup>. s<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para Outubro. Na Tabela 3, vemos que há tendência significativa na precipitação para o mês de Julho e também há uma tendência significativa na vazão mensal no mês de Julho. As demais variáveis apresentam p-valores maiores que 0,05 indicando que não houve tendência significativa nas séries analisadas. O teste de tendência para a vazão média anual apresentou p-valor maior que 0,05, afirmando a hipótese nula do teste, portanto, não há tendência significativa na série.

Na tabela 4, são apresentados os resultados do teste de Mann-Kendall para a vazão mínima da média de sete dias consecutivos (Q7) anual.

<b>Estação</b>	<b>Z<sub>MK</sub></b>	<b>p-valor</b>	<b>Sen (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)</b>
Bacia do Rio Castelo	-0,3163	0,0011	-0,0484

Tabela 4. Valores do teste de Mann-Kendall ( $Z_{MK}$ ) para vazão mínima da média de sete dias consecutivos (Q7) anual, com p-valor associado e declinações das tendências.

Fonte: Produção do próprio autor.

As vazões mínimas da média de sete dias consecutivos apresentaram tendência significativa, pois o p-valor é menor que 0,05, a declinação Sen indica decréscimo na Q7 ao passar dos anos.

O teste estatístico de Pettitt resultou nos dados apresentados nas Tabelas 5 e 6. Esse teste indica que há um ponto de mudança na série, pois o p-valor é menor que 0,05.

<b>Estação</b>	<b>K</b>	<b>p-valor</b>	<b>Ano do ponto de mudança</b>
Bacia Rio Castelo	401	0,008	1992

Tabela 5. Valores do teste de Pettitt (K) para Vazão mínima da média de sete dias consecutivos, com p-valor associado.

Fonte: Produção do próprio autor.

<b>Mês</b>	<b>K</b>	<b>p-valor</b>
Jan	88	0,0504
Fev	150	0,8502
Mar	166	0,8826
Abr	240	0,1920
Mai	174	0,7750
Jun	180	0,7068
Jul	304	0,0324
Ago	308	0,0308
Set	308	0,0308
Out	394	0,0012
Nov	150	0,8512
Dez	126	0,4676

Tabela 6. Valores do teste de Pettitt (K) para Vazão média mensal, com p-valor associado

Fonte: Produção do próprio autor.

A vazão média mensal apresentou um ponto de mudança nas séries de dados dos meses de Julho, Agosto, Setembro e Outubro, pois o p-valor foi menor que 0,05, sendo os anos dos pontos de mudança em 1986, 1992, 1992, 1985, respectivamente. Portanto, confirma-se a hipótese alternativa para esse meses. Para os demais meses não se confirma hipótese alternativa, pois resultaram do p-valor foi maior que 0,05, negando hipótese que há um ponto de mudança na série de dados.

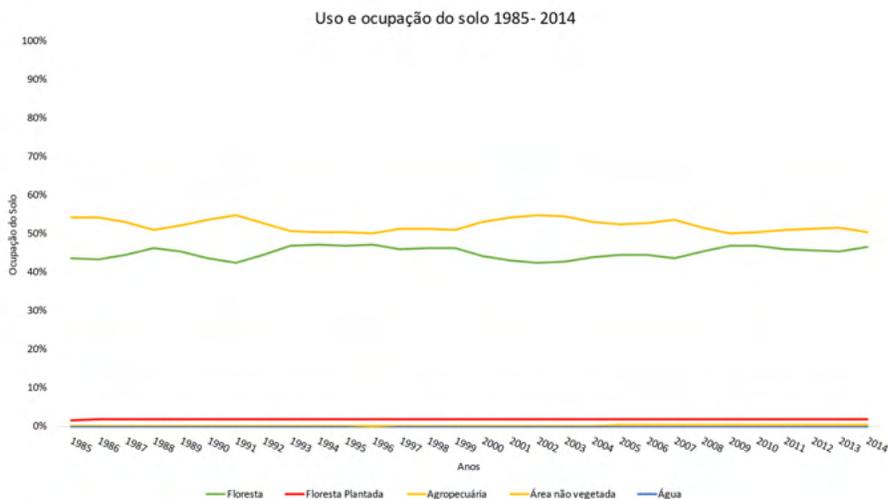


Figura 6. Uso e cobertura do solo para o município de Castelo, Espírito Santo, no período de 1985-2014.

Fonte: Produção do próprio autor.

Com o passar dos anos, a área referente a floresta cresceu e a área referente a Agropecuária (pastagens e culturas agrônômicas) diminuiu (Figura 6). Há um aumento na área destinada à floresta plantada, onde a ocupação da área foi de 1,8% para 2,2%, um aumento de 0,2% a 0,5% da área não vegetada, sendo essa área não vegetada a área urbana do município, e a área composta por água no município não houve alteração maior que 0,1% ao passar dos anos. Segundo Tucci e Clarke (1997), o aumento da vazão média pode estar relacionado a redução da cobertura de florestas.

## 4 | CONCLUSÃO

A precipitação apresentou correlação fraca para três das análises feitas (Psc x Q7, Pva x Q7 e Pia x Q7) moderada para duas análises feitas (Pa x Q7 e Pss x Q7), forte para uma análise feita (Pa x Qm) e fraca para duas análises feitas, sendo essas duas (Pms x Q7 e Pmc x Q7).

As análises do teste de Mann-Kendall apresentaram alguns resultados significativos devido o p-valor ser menor de 0,05, afirmando a hipótese alternativa, há tendência nas séries históricas analisadas, nos testes que apresentaram p-valor maior que 0,05, a hipótese alternativa fora negada.

Os testes de Pettit apontaram ponto de mudança no ano de 1992 para a série de vazão mínima da média de 7 dias consecutivos, com uma redução da vazão de  $-0,04484 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ . O teste de Pettit resultou em pontos de mudança para a série de vazão média mensal para os meses de Julho em 1986 com redução da vazão de  $-0,0604 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ ,

Agosto em 1992 com redução da vazão de  $-0,0306 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ , Setembro em 1992 com redução da vazão de  $-0,04 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  e Outubro em 1985 com redução da vazão de  $-0,1340 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ .

O uso e cobertura do solo do município de Castelo, Espírito Santo, apresentou aumento na área dedicada as atividades florestais e de florestas naturais e apresentou redução na área dedicada as atividades agropecuárias.

Os impactos causados pela precipitação na vazão da bacia do Rio Castelo foram nos meses onde há menos precipitação, provocando tendência e ponto de mudança nas séries históricas da vazão da Bacia do Rio Castelo.

Tem-se como perspectiva para trabalhos futuros a análise de variáveis do solo, através do uso de geoprocessamento para coleta de dados precisos sobre variáveis que possa influenciar na vazão dos corpos hídricos.

## AGRADECIMENTOS

A equipe do projeto agradece a UFES pela concessão da pesquisa e incentivos.

## REFERÊNCIAS

BASARIN, Biljana et al. Trends and multi-annual variability of water temperatures in the river Danube, Serbia. **Hydrological Processes**, v. 30, n. 18, p. 3315-3329, 2016.

DE ALMEIDA, Laura Thebit et al. Análise do comportamento da vazão e precipitação na influência de enchentes na bacia hidrográfica a montante da cidade de Itajubá. **Revista Augustus**, v. 24, n. 49, p. 124-145, 2019.

GONÇALVES, Cristiane Júlio. Tendências hidroclimáticas na bacia do rio Itapemirim. 2020.

LI, Yungang et al. Contributions of climate variability and human activities to runoff changes in the upper catchment of the Red River Basin, China. **Water**, v. 8, n. 9, p. 414, 2016.

MILLY, Paul CD et al. Stationarity is dead: Whither water management?. **Science**, v. 319, n. 5863, p. 573-574, 2008.

MORAES, Jorge M. et al. Trends in hydrological parameters of a southern Brazilian watershed and its relation to human induced changes. **Water Resources Management**, v. 12, n. 4, p. 295-311, 1998.

SEN, Pranab Kumar. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American statistical association**, v. 63, n. 324, p. 1379-1389, 1968.

SEYAM, Mohammed; OTHMAN, Faridah. Long-term variation analysis of a tropical river's annual streamflow regime over a 50-year period. **Theoretical and applied climatology**, v. 121, n. 1, p. 71-85, 2015.

TAO, Hui et al. Trends of streamflow in the Tarim River Basin during the past 50 years: human impact or climate change?. **Journal of hydrology**, v. 400, n. 1-2, p. 1-9, 2011.

TUCCI, Carlos EM; CLARKE, Robin T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, p. 135-152, 1997.

ULIANA, Eduardo Morgan et al. Precipitação mensal e anual provável para o Estado do Espírito Santo. **Irriga**, v. 18, n. 1, p. 139-417, 2013.

VÖRÖSMARTY, Charles J. et al. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. **science**, v. 289, n. 5477, p. 284-288, 2000.

YU, Yun-Sheng; ZOU, Shimin; WHITTEMORE, Donald. Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas. **Journal of Hydrology**, v. 150, n. 1, p. 61-80, 1993.

ZHANG, Xiaoping et al. Responses of streamflow to changes in climate and land use/cover in the Loess Plateau, China. **Water Resources Research**, v. 44, n. 7, 2008.

ZHANG, Y.-K.; SCHILLING, K. E. Increasing streamflow and baseflow in Mississippi River since the 1940 s: Effect of land use change. **Journal of Hydrology**, v. 324, n. 1-4, p. 412-422, 2006.

## ÍNDICE REMISSIVO

### B

Biodiversidade 2, 4, 10, 69, 70, 79

### C

Ciência 17, 75, 76, 77, 87, 88

Conservação 55, 57, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 89

### E

Ecology 17

Economic valuation 29

Environmental services 29

### F

Forest fire 2

### G

Gestão ambiental 89

### I

Impacts of precipitation 40

Indigenous community 29

### M

Management 10, 16, 17, 18, 52

Meio ambiente 3, 54, 56, 59, 69, 75, 79, 87

### N

Nature 17, 27

### P

Peruvian Amazon 19, 29

Precipitação 40, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 51, 52, 53, 71

Preservação 84

Public health 2

### S

Social 29, 54, 55, 56, 65

Sustentabilidade 58, 59

## **T**

Temperatura 11

## **W**

Water management 52

COLEÇÃO

# DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA FLORESTAL 2

A grayscale photograph of two forestry engineers in a forest. They are wearing hard hats and safety vests, looking towards the trees. The background is a dense forest with many trees.

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 @atenaeditora  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

COLEÇÃO

# DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA FLORESTAL 2

- 
- A photograph of two forestry engineers in a forest. One is wearing a white hard hat and a yellow safety vest, and the other is wearing a yellow hard hat and an orange safety vest. They are looking at a document together. The background is a dense forest with tall trees and green foliage.
-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
  -  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
  -  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
  -  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)