USO DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS E APRENDIZADO DE MÁQUINA PARA DETECÇÃO DE EFEITOS DE ESTRESSORES AMBIENTAIS EM PLANTAS HERBÁCEAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Por: Leandro Gameleira do Rego

Orientação: Patrício de Alencar Silva

1. INTRODUÇÃO

A compreensão dos efeitos do estresse em plantas herbáceas é de fundamental importância para a agricultura e ecologia, visto que essas plantas desempenham papéis cruciais nos ecossistemas terrestres. Nos últimos anos, houve um aumento notável no interesse por abordagens inovadoras que utilizam processamento digital de imagens e aprendizado de máquina para identificar e quantificar os efeitos do estresse nas plantas de forma eficiente e não invasiva. Esta revisão sistemática de literatura tem como objetivo analisar e sintetizar as pesquisas mais recentes nesse campo emergente, explorando as metodologias empregadas, os desafios enfrentados e os avanços alcançados na detecção e avaliação de respostas ao estresse em plantas herbáceas por meio dessas tecnologias de ponta.

## PROTOCOLO

O protocolo representa uma estrutura meticulosa na fase de planejamento de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL), onde se delineiam as etapas do processo e sua execução procedimental. A prévia definição de um protocolo detém importância crucial para mitigar possíveis vieses no decorrer da revisão, prevenindo que as etapas sejam influenciadas por predisposições do pesquisador (KITCHENHAM, 2004). O protocolo adotado nesta RSL baseou-se no modelo proposto por Biolchini et al. (2007), além de incorporar diretrizes do trabalho de Kitchenham (2004). Este protocolo de revisão delineou os objetivos e a abrangência, as questões de pesquisa e as estratégias de busca e seleção, detalhados nas seções subsequentes.

## ESCOPO

A motivação para a condução desta Revisão Sistemática de Literatura (RSL) emerge da necessidade intrínseca de explorar estudos relacionados à detecção dos impactos de estressores em plantas herbáceas, empregando avançadas abordagens de processamento digital de imagens e/ou aprendizado de máquina. O objetivo primordial é discernir pesquisas que abarquem as aplicações dessas tecnologias inovadoras no campo da ecologia vegetal. Dado que a compreensão das respostas das plantas aos estressores é de vital importância para a sustentabilidade agrícola e ambiental, a utilização dessas técnicas avançadas pode lançar luz sobre relações complexas e sutis. Através dessa revisão, almeja-se obter uma visão ampla do estado atual das pesquisas nesse domínio, identificando abordagens eficazes, desafios subjacentes e direções futuras de investigação. Assim, os objetivos e o escopo delineados a seguir visam atender a essa demanda crescente por conhecimento e inovação.

### Objetivos

Objetivo 1: Investigar e examinar minuciosamente estudos científicos que abordam a origem ou conceitos conexos ao âmbito das tecnologias de processamento de imagens e aprendizado de máquina e sua utilização na observação e análises de plantas herbáceas, bem como os efeitos de estressores sobre elas.

Objetivo 2: Avaliar a existência de instrumentos, metodologias e modelos conceituais que se dediquem à exploração da origem ou a conceitos relativos à detecção dos efeitos de estressores em plantas herbáceas, utilizando recursos de processamento digital de imagens e/ou aprendizado de máquina.

Objetivo 3: Identificar e analisar estudos de caso que oferecem insights sobre como a origem ou os conceitos relacionados ao uso de processamento digital de imagens e de aprendizado de máquina para a detecção de efeitos de estressores sobre plantas herbáceas

### Especificação do Escopo

* **Intervenção:** instrumentos, metodologias e modelos conceituais que tratam da procedência ou dos conceitos relacionados às tecnologias de processamento de imagens e aprendizado de máquina e sua utilização na observação e análises dos efeitos de estressores sobre plantas herbáceas.
* **População:** Estudos científicos que abordem a procedência ou os conceitos conexos no âmbito das tecnologias de processamento de imagens e aprendizado de máquina e sua utilização na observação e análises de plantas herbáceas, bem como os efeitos de estressores sobre elas.
* **Resultados**: Encontrar modelos, processos e ou métodos ao ao uso de processamento digital de imagens e de aprendizado de máquina para a detecção de efeitos de estressores sobre plantas herbáceas.
* **Aplicação**: Experimentação em laboratório utilizando processos, metodologias e ou modelos que permitam a utilização de processamento de imagens e ou de aprendizado de máquina para fazer a detecção dos efeitos de estressores em plantas herbáceas, tais como ervas daninhas.

## **QUESTÕES** DE PESQUISA

Para cumprir os objetivos definidos na seção anterior foram elaboradas algumas questões de pesquisa a serem respondidas. para que se possa responder a questão geral, que aborda de modo mais amplo o problema a ser analisado, existem algumas questões de natureza conceitual, técnica e prática, que se fazem necessariamente serem respondidas para a compreensão do contexto proposto, conforme segue:

### **Questão** Geral:

* Como identificar visualmente de maneira ágil o efeito de estressores em plantas herbáceas utilizando Algoritmos de processamento digital de Imagens e ou de Aprendizado de Máquina?

### **Questões** Conceituais

* Como estressores ambientais afetam plantas herbáceas?
* Como é feita a identificação visual de características de plantas herbáceas?
* Quais são os problemas atuais encontrados na detecção de efeitos de estressores em plantas herbáceas?

### **Questões** Técnicas:

* Como o processamento digital de imagens pode ser utilizado para detectar e avaliar objetivamente os efeitos de estressores em plantas?
* Quais características de imagem são mais relevantes para a detecção e quantificação dos efeitos dos estressores em plantas?
* Quais métodos de segmentação de imagens são mais eficazes para isolamento das áreas de interesse?
* Quais combinações de técnicas de processamento digital de imagens e ou aprendizado de máquina poderiam ser usadas para uma análise mais precisa dos efeitos dos dos estressores em plantas?

### **Questões** Práticas:

* Quais impactos econômicos e ambientais podem derivar de uma abordagem baseada em processamento digital de imagens e em aprendizado de máquina para monitoramento de plantas?
* Em que os resultados obtidos por meio do processamento digital de imagens e ou aprendizado de máquina são mais precisos do que observações visuais ou medições laboratoriais tradicionais?
* Quais seriam os benefícios econômicos ou ambientais do uso de tal abordagem?
* Quais partes interessadas poderiam ser beneficiadas e como?

## **ESTRATÉGIA** DE BUSCA

A estratégia de busca deve apresentar critérios claramente delineados tanto para a seleção das fontes de pesquisa quanto para a abordagem de pesquisa dentro dessas fontes. Além disso, há que se considerar qual o idioma e o conjunto específico de palavras-chave que contemplem o contexto de estudo. Assim, optou-se pelo inglês como idioma de busca, e pelos demais critérios que são detalhados a seguir:

### **Critério** de Seleção das Fontes

As fontes selecionadas devem ser bases de dados indexadas relevantes nas temáticas de Ciência da Computação e ou de Agronomia, visto ser este um estudo que abrange conceitos de ambas as áreas.

### **Bases** de Dados

De acordo com o critério definido para a seleção das fontes, as bases de dados escolhidas para realização das buscas pelos trabalhos científicos foram as seguintes:

* PubMed - <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>;
* IEEE Xplore - <https://ieeexplore.ieee.org/>;
* ScienceDirect - <https://www.sciencedirect.com/>;
* Web of Science - <https://www.webofscience.com/>;
* Scopus - <https://www.scopus.com/>;
* Google Scholar - <https://scholar.google.com/>;
* ACM Digital Library - <https://dl.acm.org/>;
* SpringerLink - <https://www.springer.com/gp>;
* JSTOR - <https://www.jstor.org/>;
* Nature - <https://www.nature.com/>;
* Wiley Online Library - <https://onlinelibrary.wiley.com/>;
* Taylor & Francis Online - <https://www.taylorandfrancis.com/>.

### **Palavras**-chave

As palavras-chave deste estudo foram definidas a partir do contexto estudado, e seus sinônimos foram os principais termos relacionados encontrados em buscas por trabalhos, sem a utilização de uma metodologia específica. A Tabela 1 apresenta as principais palavras-chave, em Inglês, seguidas de seus respectivos grupos de sinônimos.

**Quadro 1: Palavras-chave e Sinônimos**

| **Palavra-chave** | **Sinônimos** |
| --- | --- |
| *Algorithm* | *Computational Procedure*  *Methodology*  *Computational Technique*  *Sequential Process*  *Procedural Logic*  *Computational Logic*  *Step-by-Step Procedure*  *Computational Routine*  *Logic Sequence*  *Systematic Process* |
| *Artificial intelligence* | *Cognitive Computing*  *Machine Learning*  *Machine Learning*  *Cognitive Processing*  *Intelligent Systems*  *Smart Automation*  *Smart Computing*  *Cognitive Systems*  *Autonomous Technology*  *Cognitive Capabilities*  *Computational Reasoning*  *Smart Agents*  *Thinking Machines*  *Adaptive Systems* |
| *Image processing* | *Image Analysis*  *Image Manipulation*  *image recognition*  *Photo Processing*  *Image Editing*  *Transformation of Images*  *Scene Processing*  *Graphics Processing* |
| *Herbaceous plant* | *Herbaceous vegetation*  *Non-woody plants*  *Tender stem plants*  *Non-woody stem plants*  *Non-shrub plants*  *Non-tree plants* |
| *Pattern Recognition* | *Model Recognition*  *Pattern Identification*  *Settings Recognition*  *Recognition of Structures*  *Pattern Detection*  *Pattern Analysis*  *Pattern Classification*  *Model Identification*  *Pattern Discrimination*  *Feature Recognition* |
| *Plant stress detection* | *Plant Distress*  *Vegetation Stress*  *Stress in Plants*  *Plant Strain*  *Plant Pressure*  *Plant Tension*  *Plant Anxieties*  *Vegetation Struggle*  *Plant Physiological Stress*  *Botanical Stress* |
| *Stressors* | *Stress Factors*  *Environmental Stressors*  *Pressure Inducers*  *Stress Inducing Agents*  *Strain Producers*  *Stress Elicitors*  *Stressful Elements*  *Stress Contributors*  *Stress Initiators*  *Source of Stress* |

Fonte; elaboração do autor

### String **de** Busca

A estratégia de busca a ser implementada para localizar os estudos nas bases de dados foi construída com base nos agrupamentos de palavras-chave e suas sinonímias mencionadas anteriormente. A estrutura da string de busca subsequente é concebida de forma genérica, tendo em vista que as bases de dados não seguem um padrão uniforme. A inclusão de sinônimos poderá ser ajustada conforme as particularidades das bases, considerando que algumas podem restringir a quantidade de termos ou operadores lógicos em uma única busca.

**Quadro 2: Exemplo de String de Busca**

| **String de Busca** |
| --- |
| *(“Digital image processing” OR “image recognition” OR “computational vision”) AND (“stressors” OR “herbicides”) AND (“damage” OR “effects”) AND (“herbs” OR “weeds”) AND (“algorithm” OR “technique” OR “equipment” OR “application” OR “software” OR “machine learning”)* |

### **Estratégia** de Pesquisa

A abordagem de investigação engloba a aplicação da sequência de pesquisa nas bases de dados escolhidas para acessar os estudos primários. A pesquisa é conduzida por meio das ferramentas de busca avançada presentes nas bases de dados, com a adaptação da sequência para se adequar à sintaxe específica e outras limitações que possam existir. Pode-se incorporar filtros como intervalo de datas e seleção de idioma para satisfazer os critérios de inclusão definidos durante a etapa de seleção dos estudos e, assim, inicialmente reduzir o volume de trabalhos recuperados pelos mecanismos de busca.

| **Base de Dados** | **String de Busca** | **Quantidade de Artigos** |
| --- | --- | --- |
| *PubMed* |  |  |
| *IEEE Xplore* |  |  |
| *ScienceDirect* |  |  |
| *Web of Science* |  |  |
| *Scopus* |  |  |
| *Google Scholar* |  |  |
| *ACM Digital Library* |  |  |
| *SpringerLink* |  |  |
| *JSTOR* |  |  |
| *Nature* | *(“Digital image processing” OR “image recognition” OR “visual identification”) AND (“stressors” OR “herbicides”) AND (“damage” or “effects”) AND (“herbs” OR “weeds”) AND (“algorithm” OR “technique” OR “equipment” OR “application” OR “software” OR “machine learning”)* | *1* |
| *Wiley Online Library* |  |  |
| *Taylor & Francis Online* |  |  |

**Quadro 3: Bases de Dados e Strings de Busca** Fonte; elaboração do autor

### DEFINIÇÕES DE SELEÇÃO

Para orientar a seleção dos estudos, foram estabelecidos critérios que serão considerados durante esse processo. Os critérios de inclusão determinam quais estudos serão considerados para a fase subsequente de extração, enquanto os critérios de exclusão delineiam os trabalhos a serem descartados. A abordagem de seleção engloba uma análise do título, resumo e palavras-chave dos artigos, visando identificar afinidades com o contexto em questão. A inclusão dos estudos primários requer que eles atendam, no mínimo, a um dos critérios de inclusão e não estejam sujeitos a nenhum dos critérios de exclusão. Todos esses critérios estão detalhados a seguir:

### **Critérios** de Inclusão

Para nortear a seleção de estudos alinhados ao tema central da detecção de efeitos de estressores em plantas herbáceas, com a utilização de processamento digital de imagens e aprendizado de máquina, definiram-se critérios específicos de inclusão:

* Critério de Inclusão 1 (CI1): Incorporam estudos que exploram a aplicação do processamento digital de imagens e/ou técnicas de aprendizado de máquina para identificar e quantificar os efeitos de estressores em plantas herbáceas.
* Critério de Inclusão 2 (CI2): Abrangem estudos que se concentram na análise de respostas fisiológicas, morfológicas ou de outra natureza em plantas herbáceas diante de estressores, por meio da utilização de abordagens baseadas em processamento digital de imagens e aprendizado de máquina.
* Critério de Inclusão 3 (CI3): Englobam estudos que aplicam técnicas de processamento digital de imagens e aprendizado de máquina para monitorar e caracterizar mudanças em parâmetros-chave de plantas herbáceas, em resposta a diferentes tipos de estressores.
* Critério de Inclusão 4 (CI4): Consideram estudos que apresentam uma análise comparativa de diferentes abordagens de processamento digital de imagens e/ou aprendizado de máquina no contexto da detecção de efeitos de estressores em plantas herbáceas.

Esses critérios específicos de inclusão foram formulados com o propósito de direcionar a seleção de estudos que se alinham estritamente ao tópico da pesquisa, focando na detecção dos efeitos de estressores em plantas herbáceas por meio de abordagens de processamento digital de imagens e aprendizado de máquina.

### **Critérios** de Exclusão

A aplicação dos critérios de exclusão tem o propósito de assegurar a pertinência dos estudos selecionados à investigação em questão, garantindo que somente aqueles diretamente relacionados à detecção de efeitos de estressores em plantas herbáceas, com a utilização de processamento digital de imagens e aprendizado de máquina, sejam incluídos na análise.

* Critério de Exclusão 1 (CE1): Excluem-se estudos que não abordam especificamente a detecção de efeitos de estressores em plantas herbáceas, utilizando processamento digital de imagens e aprendizado de máquina.
* Critério de Exclusão 2 (CE2): Não são considerados estudos que focam exclusivamente em plantas não herbáceas ou em outros tipos de organismos vegetais.
* Critério de Exclusão 3 (CE3): Excluem-se estudos que não utilizam processamento digital de imagens ou técnicas de aprendizado de máquina como parte de suas metodologias.
* Critério de Exclusão 4 (CE4): Não são considerados estudos cujo escopo esteja limitado a estressores não relacionados ao ambiente ou à saúde das plantas herbáceas.
* Critério de Exclusão 5 (CE5): Excluem-se estudos cuja abordagem não fornece resultados diretamente relacionados à detecção e análise de efeitos de estressores em plantas herbáceas, conforme proposto no tema da pesquisa.

### **Critérios** de Qualidade

A aplicação de critérios de qualidade tem como finalidade assegurar a integridade e a validade dos estudos selecionados, promovendo a confiabilidade das conclusões obtidas no âmbito da detecção de efeitos de estressores em plantas herbáceas, com o uso de processamento digital de imagens e aprendizado de máquina.

* Critério de Qualidade 1 (CQ1): Consideram-se estudos que apresentam metodologias robustas e bem fundamentadas na aplicação do processamento digital de imagens e/ou aprendizado de máquina para a detecção de efeitos de estressores em plantas herbáceas.
* Critério de Qualidade 2 (CQ2): Avaliam-se estudos que demonstram a validação e a confiabilidade das técnicas de detecção empregadas, por meio de análises estatísticas apropriadas e testes rigorosos.
* Critério de Qualidade 3 (CQ3): Priorizam-se estudos que utilizam amostragens adequadas e representativas de plantas herbáceas, considerando variações intra e interespécies, bem como diferentes condições de estresse.
* Critério de Qualidade 4 (CQ4): Consideram-se estudos que oferecem uma análise clara e detalhada dos resultados obtidos, incluindo interpretações robustas e discussões que relacionam as descobertas ao contexto da pesquisa.
* Critério de Qualidade 5 (CQ5): Avaliam-se estudos que são publicados em revistas científicas reconhecidas e submetidos a processos de revisão por pares, garantindo a validação e a credibilidade dos métodos e resultados apresentados.

### **PROCEDIMENTO** PARA SELEÇÃO DOS ESTUDOS

O procedimento de seleção dos estudos foi estruturado e realizado em três etapas, alinhando-se com as abordagens de busca e seleção delineadas nas seções anteriores. Cada uma dessas etapas é elucidada com minúcia a seguir:

### Etapa 1: **Planejamento** e Definição de Critérios

Na primeira fase desta RSL foram estabelecidos os objetivos da pesquisa, as questões de pesquisa e os critérios de inclusão, exclusão e qualidade dos estudos. Nesse caso, os critérios de inclusão específicos determinaram quais estudos eram relevantes, enquanto os critérios de exclusão asseguraram a pertinência dos trabalhos selecionados ao tema. Além disso, critérios de qualidade foram delineados para avaliar a robustez metodológica e a confiabilidade dos estudos escolhidos.

### Etapa 2: **Execução** da Busca e Seleção dos Estudos

Nesta etapa, a estratégia de pesquisa foi aplicada nas bases de dados selecionadas. A pesquisa foi conduzida de acordo com a sintaxe de cada base, adaptando-se à sua estrutura. A seleção dos estudos seguiu os critérios definidos na fase de planejamento. Os trabalhos foram avaliados com base em seus títulos, resumos e palavras-chave, buscando semelhanças com o contexto da detecção de efeitos de estressores em plantas herbáceas com uso de processamento digital de imagens e aprendizado de máquina. Os estudos relevantes foram identificados para análise posterior.

### Etapa 3: **Avaliação**, Síntese e Conclusão

Na última fase, os estudos selecionados passaram por uma avaliação crítica de sua qualidade e relevância. Eles foram analisados à luz dos critérios de qualidade estabelecidos, garantindo que os métodos e resultados fossem confiáveis. Os dados relevantes foram extraídos e sintetizados, proporcionando uma visão holística do campo de pesquisa. A partir disso, foi possível responder às questões de pesquisa e identificar tendências, lacunas e direções futuras. A conclusão da RSL forneceu um panorama consolidado dos avanços e desafios na detecção de efeitos de estressores em plantas herbáceas, utilizando processamento digital de imagens e aprendizado de máquina.

### EXTRAÇÃO E SUMARIZAÇÃO

A fase de extração desempenhou o papel fundamental de identificar, a partir da análise abrangente dos artigos selecionados, os dados pertinentes que atenderam às questões de pesquisa delineadas na revisão. Durante a avaliação de cada estudo, foram coletadas informações cruciais, como objetivos, abordagens metodológicas empregadas e resultados obtidos. Esses dados foram registrados de maneira organizada em uma planilha de extração,e estão representados na **Tabela 3**, facilitando a subsequente análise e sumarização.

**Quadro 4: MODELO DE PLANILHA DE DADOS SUMARIZADOS**

| **Título** | **Autor(es)** | **Base de Dados** | **Ano** | **Objetivo(s)** | **Métodos(s)** | **Resultado(s)** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |

Fonte; elaboração do autor

Uma vez que os dados foram exaustivamente extraídos, o processo de sumarização foi iniciado. Essa etapa envolveu a agregação e a síntese dos resultados e das conclusões dos estudos selecionados. Os padrões emergentes, as tendências e as lacunas na literatura foram identificados com base nas informações coletadas, proporcionando uma visão consolidada das descobertas. A sumarização permitiu responder às questões de pesquisa, destacar as principais abordagens e contribuições dos estudos e também apontar direções futuras para a investigação nesse campo específico.

A interligação entre as fases de extração e sumarização permitiu uma análise abrangente e informada dos estudos, contribuindo para o alcance dos objetivos da revisão sistemática de literatura.

### **DISCUSSÃO** DOS RESULTADOS

1. **REFERÊNCIAS**

BIOLCHINI, J. C. de A. et al. Scientific research ontology to support systematic review in software engineering. Advanced Engineering Informatics, Elsevier, v. 21, n. 2, p. 133–151, 2007.

KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. Keele, UK, Keele University, v. 33, n. 2004, p. 1–26, 2004.