**O Processo de Detecção do Efeito de Herbicidas e Outros Estressores em Plantas Herbáceas: Uma Abordagem de Visão Computacional e de Aprendizado de Máquina**

***Escrito por:*** *Leandro Gameleira do Rego****Sob a orientação de:*** *Patricio de Alencar Silva*

**SUMÁRIO**

[1. INTRODUÇÃO 3](#_Toc157543531)

[1.1. Contexto do Estudo 3](#_Toc157543532)

[1.2. Problemática da Pesquisa 4](#_Toc157543533)

[1.2.1. Questão Geral: 4](#_Toc157543534)

[1.2.2. Questões Conceituais 4](#_Toc157543535)

[1.2.3. Questões Técnicas: 4](#_Toc157543536)

[1.2.4. Questões Práticas: 4](#_Toc157543537)

[1.3. Objetivos 5](#_Toc157543538)

[1.3.1. Objetivo Geral: 5](#_Toc157543539)

[1.3.2. Objetivos Específicos: 5](#_Toc157543540)

[1.4. Metodologia 5](#_Toc157543541)

[1.4.1. Revisão Sistemática de Literatura: 6](#_Toc157543542)

[1.4.2. Prototipação 7](#_Toc157543543)

[1.4.3. Validação e Implementação 8](#_Toc157543544)

[1.5. Premissas 8](#_Toc157543545)

[1.6. Estrutura do Trabalho 9](#_Toc157543546)

[2. REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA SOBRE DE DETECÇÃO DOS EFEITOS DE HERBICIDAS EM PLANTAS DANINHAS 11](#_Toc157543547)

[2.1. PROTOCOLO 11](#_Toc157543548)

[2.2. ESCOPO 11](#_Toc157543549)

[2.2.1. Objetivos 12](#_Toc157543550)

[2.2.2. Especificação do Escopo 12](#_Toc157543551)

[2.3. QUESTÕES DE PESQUISA 13](#_Toc157543552)

[2.3.1. Questão Geral: 13](#_Toc157543553)

[2.3.2. Questões Conceituais 13](#_Toc157543554)

[2.3.3. Questões Técnicas: 13](#_Toc157543555)

[2.3.4. Questões Práticas: 13](#_Toc157543556)

[2.4. ESTRATÉGIA DE BUSCA 14](#_Toc157543557)

[2.4.1. Critério de Seleção das Fontes 14](#_Toc157543558)

[2.4.2. Bases de Dados 14](#_Toc157543559)

[2.4.3. Palavras-chave 15](#_Toc157543560)

[2.4.4. Estratégia de Pesquisa 17](#_Toc157543561)

[2.5. DEFINIÇÕES DE SELEÇÃO 18](#_Toc157543562)

[2.5.1. Critérios de Inclusão 18](#_Toc157543563)

[2.5.2. Critérios de Exclusão 19](#_Toc157543564)

[2.5.3. Critérios de Qualidade 19](#_Toc157543565)

[2.6. PROCEDIMENTO PARA SELEÇÃO DOS ESTUDOS 20](#_Toc157543566)

[2.6.1. Etapa 1: Planejamento e Definição de Critérios 20](#_Toc157543567)

[2.6.2. Etapa 2: Execução da Busca e Seleção dos Estudos 20](#_Toc157543568)

[2.6.3. Etapa 3: Avaliação, Síntese e Conclusão 21](#_Toc157543569)

[2.7. EXTRAÇÃO E SUMARIZAÇÃO 21](#_Toc157543570)

[2.8. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 22](#_Toc157543571)

[3. MODELO DE ONTOLOGIA PARA DETECÇÃO DOS EFEITOS DE HERBICIDAS EM PLANTAS DANINHAS. 23](#_Toc157543572)

[3.1. REFERENCIAL TEÓRICO 24](#_Toc157543573)

[3.1.1. Ontologia na Web Semântica 24](#_Toc157543574)

[3.1.2. OntoUML: Fundamentação Conceitual para Ontologias 25](#_Toc157543575)

[3.1.3. OWL: Linguagem para Representação de Ontologias 25](#_Toc157543576)

[3.1.4. Integração Harmoniosa: Ontologia, OntoUML e OWL 26](#_Toc157543577)

[3.2. ESPECIFICAÇÕES DA ONTOLOGIA 26](#_Toc157543578)

[3.2.1. Questões conceituais 26](#_Toc157543579)

[3.2.2. Requisitos Não Funcionais 27](#_Toc157543580)

[3.2.3. Definição da Estrutura: Conceitos e Classes 28](#_Toc157543581)

[3.2.4. Relações 30](#_Toc157543582)

[3.2.5. Restrições: 31](#_Toc157543583)

[3.3. ESBOÇO DA ONTOLOGIA 32](#_Toc157543584)

[3.3.1. Visão de Computação 33](#_Toc157543585)

[3.3.2. Visão de Agricultura 33](#_Toc157543586)

[3.3.3. Visão de Bioquímica 34](#_Toc157543587)

[3.4. MODELAGEM DA ONTOLOGIA 35](#_Toc157543588)

[3.4.1. Estrutura da Ontologia 35](#_Toc157543589)

[3.4.2. Consulta à Ontologias 37](#_Toc157543590)

[3.5. USOS POTENCIAIS 39](#_Toc157543591)

[3.6. CONSIDERAÇÕES 40](#_Toc157543592)

[4. REFERÊNCIAS 40](#_Toc157543593)

# INTRODUÇÃO

O uso de herbicidas desempenha um papel fundamental no controle de plantas daninhas e na manutenção da produtividade agrícola. Os herbicidas são substâncias químicas desenvolvidas para eliminar ou reduzir o crescimento de plantas indesejadas, conhecidas como plantas daninhas, que competem por recursos vitais, como luz, água e nutrientes, com as plantas cultivadas. Embora esses produtos químicos sejam amplamente utilizados, é essencial entender os efeitos que eles podem ter nas plantas herbáceas, que são um componente vital dos ecossistemas naturais e dos sistemas agrícolas. As plantas herbáceas, caracterizadas por caules macios e flexíveis, desempenham papéis importantes nos ecossistemas, incluindo a ciclagem de nutrientes, a estabilização do solo e a proteção contra a erosão. No entanto, quando expostas aos herbicidas, essas plantas podem sofrer uma série de efeitos negativos que podem afetar seu crescimento, desenvolvimento e sobrevivência.

Os efeitos dos herbicidas em plantas podem variar dependendo da espécie de planta, do tipo de herbicida utilizado, da dose aplicada e das condições ambientais em que as plantas estão expostas. Esses efeitos podem incluir descoloração das folhas, amarelecimento, necrose, inibição de crescimento, redução na taxa de fotossíntese e alterações na estrutura celular. Além disso, os herbicidas podem ter efeitos indiretos, influenciando a composição e a diversidade da comunidade de plantas herbáceas em ecossistemas naturais ou agrícolas. Compreender os efeitos dos herbicidas em plantas herbáceas é crucial para garantir a eficácia do controle de plantas daninhas, bem como minimizar os impactos negativos no meio ambiente. Além disso, a investigação desses efeitos pode levar ao desenvolvimento de estratégias de manejo mais sustentáveis, como o uso de herbicidas seletivos ou o desenvolvimento de plantas herbáceas resistentes ou tolerantes a herbicidas.

## Contexto do Estudo

A detecção visual do efeito de herbicidas em plantas herbáceas pode ser realizada por meio da observação de características visíveis nas plantas, como alterações de cor, necrose, crescimento retardado, deformações foliares ou outras anomalias. Essa detecção visual pode ser realizada tanto em campo quanto em laboratório.

A detecção do efeito de herbicidas em plantas herbáceas usando processamento digital de imagens é uma abordagem promissora que combina a tecnologia de visão computacional com a análise de imagens para avaliar objetivamente os efeitos dos herbicidas nas plantas. Essa abordagem permite uma análise mais precisa, automatizada e quantitativa, superando as limitações da detecção visual subjetiva. É importante destacar que a implementação específica de um algoritmo de processamento de imagens para a detecção do efeito de herbicidas em plantas herbáceas pode variar dependendo das características das plantas, dos herbicidas utilizados e das condições experimentais.

## Problemática da Pesquisa

### Questão Geral:

* Como Identificar visualmente de maneira ágil o efeito de herbicidas em plantas daninhas utilizando Algorítmicos de processamento digital de Imagens

### Questões Conceituais

* Como herbicidas são atualmente aplicados no combate a ervas daninhas em contato com culturas de base (p.ex.: milho, soja ou feijão)?
  + Como é feita a identificação visual de características de plantas daninhas?
  + Como os herbicidas são aplicados com base nesse tipo de identificação?
  + Quais são os problemas atuais nesse tipo de abordagem?

### Questões Técnicas:

* Como o processamento digital de imagens pode ser utilizado para detectar e avaliar objetivamente o efeito de herbicidas em ervas daninhas e culturas de base?
  + Quais características de imagem são mais relevantes para a detecção e quantificação dos efeitos dos herbicidas em ervas daninhas?
  + Quais métodos de segmentação de imagens são mais eficazes para isolamento das áreas de interesse?
  + Quais combinações de técnicas de processamento digital de imagens poderiam ser usadas para uma análise mais precisa dos efeitos dos herbicidas em ervas daninhas?

### Questões Práticas:

* Quais impactos econômicos e ambientais podem derivar de uma abordagem baseada em processamento digital de imagens para monitoramento de ervas daninhas?
  + Em que os resultados obtidos por meio do processamento digital de imagens 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?

## Objetivos

Nesta pesquisa, exploraremos os efeitos dos herbicidas em plantas herbáceas, abordando questões relacionadas às respostas fisiológicas e bioquímicas das plantas, interações com fatores ambientais, desenvolvimento de resistência, impactos em ecossistemas adjacentes e alternativas aos herbicidas convencionais.

### Objetivo Geral:

* Ao avançarmos em nosso entendimento sobre esse tema, esperamos contribuir para a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis e o manejo eficaz de plantas daninhas, preservando a saúde das plantas herbáceas e a integridade dos ecossistemas em que elas estão inseridas.

### Objetivos Específicos:

* Elaborar uma Revisão Sistemática de Literatura sobre o processo de identificação visual do efeito de herbicidas em plantas daninhas utilizando processamento digital de imagens.
* Construir um portifólio de Algoritmos que permita o processamento de imagens digitais que permita agilizar o processo de identificação dos efeitos dos herbicidas em plantas, principalmente em ervas daninhas.
* Identificar quais os principais benefícios da utilização de Processamento de imagens no processo de controle de plantas daninhas em culturas agrícolas.

## Metodologia

Nesta seção traz uma explanação sobre o paradigma Design Science, que será utilizada no desenvolvimento deste estudo, e sobre cada método a ser desenvolvida, contemplada por um círculo dessa metodologia: investigação do problema, projeto de tratamento e validação.

Diagrama

Descrição gerada automaticamente

Figura 1: Ciclo da Pesquisa Design Science - Elaboração do Autor

A Figura 1 apresenta os métodos que serão desenvolvidos durante a pesquisa, partindo das questões que compõem o conjunto problema ´para que se possa chegar ao conjunto solução desejado.

### Revisão Sistemática de Literatura:

A sistematização da literatura tem como objetivo identificar, por meio de um processo minucioso, estudos que abordam os métodos de identificação dos efeitos visuais de herbicidas na vegetação, principalmente nas ervas daninhas. A intenção do estudo é buscar identificar em artigos a serem selecionados, sobretudo, os métodos que se utilizam de processamento digital de imagens com esse fim; buscando também aferir as limitações encontradas, os algoritmos empregados, os requisitos considerados e os métodos de validação empregados.

Para tanto, far-se-á buscas em bases de dados como CAB Abstracts, Current Contents Connect, IEEE Xplore Digital Library, Scopus e Science Direct e Web of Science, entre outras, que possam abranger a área de pesquisa em Processamento digital de imagens e/ou efeitos de herbicidas em plantas.

Ao realizar as buscas, serão utilizados critérios de inclusão e exclusão pré-definidos, a fim de selecionar os estudos relevantes para o objetivo da pesquisa. Os critérios podem ter envolvido aspectos como o período de publicação, idioma, tipos de estudo, entre outros, de acordo com estratégia definida para cada base de dados. Após a busca, os artigos serão submetidos a uma análise detalhada, com o intuito de extrair informações relevantes sobre os métodos empregados, bem como limitações, arquiteturas, requisitos e validações realizadas.

A sistematização da literatura visa proporcionar uma visão abrangente e organizada sobre o estado ora proposto relacionada com o desenvolvimento de um artefato, algoritmo e/ou instrumento metodológico que permita aferir visualmente por meio de processamento digital o efeito de herbicidas em plantas daninhas. A análise crítica dos estudos disponíveis permitirá identificar lacunas no conhecimento e direcionar esta e outras pesquisas nesse campo.

### Prototipação

O objetivo da prototipação é projetar e implementar os artefatos da pesquisa. O primeiro passo nesse processo é o desenvolvimento de um algoritmo de processamento de imagens que permita a identificação e isolamento das plantas a serem analisadas e em seguida identifique se elas estão sofrendo efeitos de degradação resultante de envenenamento por herbicidas. O processo de desenvolvimento do algoritmo seguirá os seguintes passos: Coleta e preparação dos dados, Definição de variáveis e características, Desenvolvimento do modelo de detecção, Validação do modelo e Implementação e integração.

A Coleta e preparação dos dados será necessário para obter informações relevantes sobre as plantas em estudo, como características morfológicas, dados espectrais, histórico de aplicação de herbicidas e registros de possíveis sintomas de envenenamento. Esses dados serão preparados e organizados para serem utilizados no desenvolvimento do algoritmo.

A Definição de variáveis e características será feita com base nos dados coletados, sendo necessário identificar as que sejam relevantes para a detecção de envenenamento por herbicidas. Isso pode incluir propriedades espectrais das plantas, alterações morfológicas, presença de sintomas específicos e informações sobre o uso de herbicidas na região.

O Desenvolvimento do modelo de detecção se utilizará das variáveis e características relevante identificadas, e permitirá a detecção usando técnicas de aprendizado de máquina e/u processamento digital de imagem. O modelo será treinado utilizando um conjunto de dados anotados, onde as plantas afetadas pelo envenenamento por herbicidas são marcadas como positivas e as plantas saudáveis como negativas. O objetivo é que o modelo aprenda a distinguir entre plantas saudáveis e afetadas.

### Validação e Implementação

A Validação da solução será feita após o treinamento do modelo, que será testado em um conjunto de dados separado e não utilizado no treinamento. A precisão e eficácia do algoritmo serão avaliadas por meio de métricas apropriadas, como a taxa de acerto, a sensibilidade e a especificidade. Serão feitas análises comparativas para verificar se o algoritmo é capaz de identificar corretamente as plantas envenenadas e distinguir das plantas saudáveis.

Uma vez validado, o algoritmo será implementado em uma aplicação ou sistema de suporte para análise de plantas envenenadas por herbicidas. Esse sistema pode ser integrado a outras ferramentas ou dispositivos utilizados na análise e monitoramento de plantas, permitindo a identificação rápida e precisa dos efeitos de degradação resultantes do envenenamento.

Ao seguir esses passos, o desenvolvimento do algoritmo permitirá a identificação e isolamento das plantas a serem analisadas, bem como a detecção de possíveis efeitos de degradação resultantes do envenenamento por herbicidas. Isso proporcionará uma abordagem eficiente para monitorar e avaliar o impacto desses produtos nas plantas, auxiliando na tomada de decisões e no manejo adequado dos recursos vegetais.

## Premissas

Para o desenvolvimento do trabalho de detecção do efeito de herbicidas em plantas daninhas, é importante considerar algumas premissas que podem influenciar o projeto tais como:

* Disponibilidade de dados: É fundamental contar com dados adequados para treinar e validar o algoritmo de detecção. Isso inclui a disponibilidade de registros históricos sobre o uso de herbicidas, dados espectrais das plantas, informações sobre sintomas de envenenamento e outros dados relevantes. A qualidade e representatividade desses dados serão cruciais para o sucesso do trabalho.
* Acesso a especialistas e recursos: É importante contar com a expertise de profissionais especializados em herbicidas, toxicologia vegetal e detecção de envenenamento em plantas. Esses especialistas podem fornecer insights valiosos para o desenvolvimento do algoritmo, bem como orientação durante o processo de validação e interpretação dos resultados.
* Variedade de plantas e herbicidas: É essencial considerar uma ampla variedade de espécies vegetais e diferentes tipos de herbicidas em desenvolvimento do algoritmo. Os efeitos de envenenamento podem variar entre espécies e diferentes produtos químicos. Portanto, é importante ter uma amostra representativa que abranja diferentes combinações de plantas e herbicidas relevantes para a aplicação em questão.
* Validação cruzada: Um procedimento importante para avaliar a robustez e eficácia do algoritmo desenvolvido é a validação cruzada. Isso envolve testar o algoritmo em conjuntos de dados diferentes dos utilizados no treinamento, a fim de verificar sua capacidade de generalização. A validação cruzada ajuda a mitigar o risco de overfitting e fornece uma avaliação mais realista do desempenho do algoritmo.
* Avaliação constante e refinamento iterativo: O desenvolvimento de um algoritmo de detecção é um processo contínuo e iterativo. À medida que novos dados são coletados e o algoritmo é aplicado em diferentes contextos, é importante avaliar constantemente sua eficácia e realizar refinamentos necessários. Isso pode envolver a inclusão de novas características, ajustes nos parâmetros do modelo ou a exploração de técnicas de aprendizado de máquina mais avançadas.

Essas premissas fornecem uma base para o desenvolvimento do trabalho de detecção de envenenamento de plantas daninhas por herbicidas. Levá-las em consideração ajudará a orientar o projeto, garantindo a utilização de dados adequados, o envolvimento de especialistas relevantes e a busca contínua por melhorias no algoritmo de detecção.

## Estrutura do Trabalho

Uma provável estrutura para a pesquisa de detecção dos efeitos de herbicidas em ervas daninha, considerando a revisão sistemática de literatura, a prototipação e a validação do algoritmo seria:

|  |
| --- |
| 1. Introdução    1. Contextualização do problema do envenenamento por herbicidas em plantas.    2. Apresentação da importância da detecção precoce e precisa desse fenômeno    3. Objetivos do trabalho e visão geral da abordagem proposta. 2. Revisão sistemática de literatura    1. Descrição do processo de revisão sistemática realizado.    2. Apresentação das bases de dados pesquisadas e critérios de seleção dos estudos.    3. Discussão dos estudos encontrados, abordando métodos, limitações e resultados relacionados ao tema da detecção de efeitos de herbicidas em plantas.    4. Identificação de lacunas no conhecimento e justificativa para o desenvolvimento do algoritmo proposto. 3. Metodologia    1. Descrição dos passos metodológicos adotados para o desenvolvimento do algoritmo.    2. Detalhamento da coleta e preparação dos dados utilizados.    3. Explicação da escolha das variáveis e características relevantes para a detecção.    4. Apresentação das técnicas de aprendizado de máquina ou processamento de imagem empregadas na prototipação do algoritmo.    5. Descrição dos procedimentos de validação adotados. 4. Prototipação do algoritmo    1. Descrição da construção das ontologias de domínio na área da saúde, que serviram como base para o desenvolvimento do algoritmo.    2. Apresentação das etapas de modelagem e iterações realizadas para alcançar um modelo adequado.    3. Discussão dos resultados obtidos durante a prototipação, destacando os desafios enfrentados e as soluções encontradas. 5. Validação do algoritmo    1. Apresentação dos conjuntos de dados utilizados na validação do algoritmo.    2. Descrição dos procedimentos de validação cruzada adotados.    3. Análise dos resultados obtidos, incluindo métricas de desempenho e comparação com outros métodos ou abordagens existentes.    4. Discussão dos resultados e interpretação de sua relevância para a detecção de envenenamento de plantas daninha por herbicidas. 6. Considerações Finais    1. Recapitulação dos principais pontos do trabalho.    2. Discussão dos impactos e contribuições do algoritmo proposto.    3. Apresentação de possíveis trabalhos futuros para aprimoramento e expansão do algoritmo. 7. Referências Bibliográficas |

Essa estrutura proposta permite abordar de forma organizada e sequencial os diferentes estágios do trabalho, desde a revisão sistemática da literatura até a validação do algoritmo desenvolvido.

# REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA SOBRE DE DETECÇÃO DOS EFEITOS DE HERBICIDAS EM PLANTAS DANINHAS

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 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 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

* + 1. 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”)* |

*Fonte: elaboração do autor*

### 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.

***Quadro 3: Bases de Dados e Strings 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* |  |  |

*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 identificadas 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

# MODELO DE ONTOLOGIA PARA DETECÇÃO DOS EFEITOS DE HERBICIDAS EM PLANTAS DANINHAS.

Nos dias de hoje, a agricultura enfrenta uma série de desafios complexos, desde a necessidade premente de eficiência no uso de herbicidas até a busca incessante por práticas agrícolas que respeitem os princípios da sustentabilidade. É nesse contexto dinâmico e multifacetado que sugerimos a concepção de uma Ontologia que propõe a Identificação de Efeitos de Herbicidas em plantas daninhas. Essa ontologia representa muito mais do que apenas um avanço tecnológico; ela encarna um divisor de águas na pesquisa agrícola e na gestão de cultivos.

A ontologia em desenvolvimento tem um propósito ambicioso, visando à integração de tecnologias de processamento de imagem e aprendizado de máquina, oferecendo uma base sólida para a análise detalhada de imagens de plantas daninhas, permitindo uma avaliação precisa e abrangente dos efeitos decorrentes da aplicação de herbicidas. Em essência, a ontologia é um repositório de conhecimento que transcende o convencional, sendo uma ferramenta poderosa que capacita pesquisadores, agricultores e profissionais a compreenderem, monitorarem e otimizarem as práticas de manejo de plantas daninhas.

Este artigo delineia meticulosamente os objetivos, as definições de conceitos, as relações, as restrições e os requisitos que orientarão o desenvolvimento da ontologia. No entanto, seu impacto potencial vai muito além de suas especificações técnicas. Este projeto representa uma inovação, não apenas para a agricultura, mas também para a pesquisa científica e o compromisso com a sustentabilidade ambiental, uma abordagem que revoluciona a forma como é feita a identificação de efeitos de herbicidas, influenciando positivamente práticas agrícolas em direção a um futuro mais eficiente e ecologicamente consciente.

O presente capítulo tem como missão principal esboçar uma ontologia que visa a construção de um sistema inovador de identificação de efeitos de herbicidas em plantas daninhas, respaldando-se em tecnologias de processamento de imagem e aprendizado de máquina, de modo a proporcional uma solução avançada e especializada para um dos desafios críticos enfrentados em contextos agrícolas e de pesquisa.

A abrangência desta ontologia transcende a simples representação de conceitos e relações; ela intenta oferecer o entendimento aprofundado dos complexos processos envolvidos na identificação de efeitos de herbicidas nas plantas, incluindo, mas não se limitando, a caracterização de herbicidas, a taxonomia de plantas daninhas, a captura de imagens, a análise de efeitos, a modelagem de algoritmos de processamento de imagem e técnicas de aprendizado de máquina, juntamente com a infraestrutura de sistemas computacionais que unifique esses elementos.

No decorrer deste artigo, desvendamos as camadas de conhecimento necessárias para a criação de uma ontologia robusta e semanticamente rica, com o intuito de servir como uma ferramenta fundamental na pesquisa nas áreas agrícola e computacional, auxiliando na tomada de decisões relativas ao tratamento de ervas daninhas com herbicidas e contextos afins. A compreensão abrangente dos domínios do conhecimento envolvidos é essencial, uma vez que a ontologia busca refletir as nuances e complexidades inerentes ao tema em um contexto prático.

## REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção proporciona uma base conceitual para compreender os elementos fundamentais que norteiam a criação e desenvolvimento de ontologias avançadas. Inserida no contexto da Web Semântica, onde a representação e interpretação de dados por máquinas ganham destaque, a ontologia desempenha um papel central. Aqui são abordados particularmente a importância da Ontology Unified Modeling Language (OntoUML) como uma linguagem conceitual para modelagem, integrada harmoniosamente com o Web Ontology Language (OWL), uma linguagem padrão para a construção de ontologias na Web Semântica. A conjunção destes elementos, explorada neste referencial teórico, fornece uma base teórica para a criação de ontologias que vão além da representação de dados, e proporcionam uma compreensão semântica profunda e facilitam a interoperabilidade entre sistemas heterogêneos.

### Ontologia na Web Semântica

A ontologia, no contexto da Web Semântica, desempenha um papel vital ao proporcionar uma estrutura formal que possibilita a representação de conhecimento de maneira compreensível por máquinas. A visão de Berners-Lee et al. (2001) sublinha a centralidade das ontologias ao afirmar que essas estruturas são fundamentais para a organização e integração de dados. Essa organização e integração, por sua vez, estabelecem as bases para uma colaboração mais eficaz e uma interoperabilidade aprimorada entre sistemas. Em essência, as ontologias capacitam não apenas a comunicação semântica entre diferentes entidades, mas também promovem a eficiência na interpretação e manipulação de dados em ambientes heterogêneos e distribuídos. Essa capacidade de fornecer uma representação formal e consensual do conhecimento é um elemento-chave para a realização da visão da Web Semântica, onde a máquina não apenas processa informações, mas também compreende seu significado em um nível mais profundo.

### OntoUML: Fundamentação Conceitual para Ontologias

A Ontology Unified Modeling Language (OntoUML) emerge como uma linguagem de modelagem concebida para a construção de ontologias robustas. A visão proposta por Guizzardi (2005) destaca a OntoUML como uma abordagem inovadora que busca integrar princípios filosóficos com a modelagem de informações. Nesse contexto, a OntoUML não se limita a ser apenas uma ferramenta técnica, mas visa proporcionar uma base teórica sólida para a representação de conhecimento. Guizzardi enfatiza que essa abordagem teórica é essencial para garantir que as ontologias desenvolvidas sejam não apenas estruturalmente coerentes, mas também semanticamente precisas. A interseção entre fundamentos filosóficos e modelagem de informações posiciona a OntoUML como uma ferramenta que não apenas captura a complexidade do conhecimento de domínio, mas também incorpora uma compreensão profunda das relações e significados subjacentes. Ao adotar a OntoUML, os modeladores de ontologias são capacitados a expressar conceitos de forma mais precisa e a capturar nuances semânticas que são vitais para a representação fiel de domínios complexos.

### OWL: Linguagem para Representação de Ontologias

A Web Ontology Language (OWL), padronizada pelo World Wide Web Consortium (W3C), representa uma linguagem fundamental para a descrição de relações complexas entre conceitos na Web Semântica. O trabalho de McGuinness e van Harmelen (2004) destaca que a OWL desempenha um papel central ao proporcionar uma base formal para a criação de ontologias. Uma de suas contribuições mais significativas é a capacidade de realizar inferências semânticas, promovendo uma compreensão mais profunda das relações entre entidades representadas. Ao oferecer uma especificação semântica precisa, o OWL facilita a comunicação eficaz entre sistemas heterogêneos. Essa linguagem não apenas permite a representação de conhecimento de maneira estruturada, mas também habilita a realização de inferências automáticas, promovendo a descoberta de novas informações com base nas relações estabelecidas. Dessa forma, a OWL desempenha um papel crucial na criação de uma Web Semântica mais inteligível e interoperável, impulsionando a colaboração e a troca eficiente de informações entre sistemas distribuídos.

### Integração Harmoniosa: Ontologia, OntoUML e OWL

A integração eficaz de ontologia, OntoUML e OWL é crucial para o desenvolvimento de ontologias semânticas rubustas. Como mencionado por Smith et al. (2004), "a combinação dessas ferramentas oferece uma abordagem abrangente para modelar e representar conhecimento, proporcionando interoperabilidade semântica e facilitando a solução de problemas complexos".

Esses pilares teóricos - Web Semântica, OntoUML e OWL - fornecem as bases necessárias para a criação de ontologias semânticas avançadas, abrindo caminho para a representação, integração e inferência de conhecimento de maneira precisa e eficiente.

## ESPECIFICAÇÕES DA ONTOLOGIA

Nesta Seção explorando as questões conceituais, requisitos não funcionais e a definição estrutural da ontologia. Ela delineia os conceitos e classes fundamentais, destacando suas interrelações. Além disso, abordaremos as relações semânticas que estabelecem a conectividade entre os elementos da ontologia, proporcionando uma compreensão clara das interações e das restrições subjacentes, garantindo a integridade e consistência dos dados. Aqui é apresentado não apenas estrutura da base conceitual, mas também estabelece as diretrizes necessárias para o desenvolvimento de um sistema robusto e semanticamente rico, capaz de representar de forma precisa e abrangente dos efeitos de herbicidas em plantas daninhas.

### Questões conceituais

A seguir são apresenta algumas questões conceituais, requisitos funcionais, as quais a ontologia busca responder.

* QC1. Como é feita a identificação visual de características de plantas daninhas?
* QC2. Como herbicidas são aplicados com base nesse tipo de identificação?
* QC3. Quais são os problemas atuais nesse tipo de abordagem?
* QC4. Quais características de imagem são mais relevantes para a detecção e quantificação dos efeitos dos herbicidas em ervas daninhas?
* QC5. Quais métodos de segmentação de imagens são mais eficazes para isolamento das áreas de interesse?
* QC6. Quais combinações de técnicas de processamento digital de imagens poderiam ser usadas para uma análise mais precisa dos efeitos dos herbicidas em ervas daninhas?
* QC7. Em que os resultados obtidos por meio do processamento digital de imagens são mais precisos do que observações visuais ou medições laboratoriais tradicionais?
* QC8. Quais seriam os benefícios econômicos ou ambientais do uso de tal abordagem? Quais partes interessadas poderiam ser beneficiadas e como?

### Requisitos Não Funcionais

Neste momento, também é importante destacar os requisitos não funcionais que devem ser atendidos pela ontologia a fim de torná-la mais robusta e fidedigna ao seu propósito.

* **Interoperabilidade**  
  **Definição:** A interoperabilidade permite garantir que a ontologia seja compatível com padrões amplamente aceitos de representação de dados, como a linguagem OWL (Web Ontology Language). Isso permite que a ontologia seja integrada de forma eficaz com outras ontologias e sistemas, promovendo a reutilização de dados e conhecimentos em diferentes contextos.
* **Relevância**: A interoperabilidade assegura que a ontologia possa ser usada em colaboração com outras ontologias e sistemas, ampliando seu valor em diferentes domínios e aplicações.
* **Extensibilidade**

**Definição:** A extensibilidade refere-se à capacidade da ontologia de acomodar futuras extensões, à medida que novos conceitos, propriedades e relações se tornem necessários no domínio de identificação de efeitos de herbicidas. A ontologia deve ser projetada de forma a permitir a inclusão eficiente de novas informações sem comprometer sua estrutura existente.

**Relevância:** A extensibilidade é crucial para garantir que a ontologia possa evoluir e crescer à medida que as necessidades do domínio e do sistema mudem ao longo do tempo. Isso permite a adaptação contínua da ontologia para atender às demandas emergentes.

**Mecanismos de Extensão:** A ontologia deve fornecer mecanismos e diretrizes claras para a inclusão de novos conceitos, propriedades e relações, como a definição de padrões para extensões e a documentação de melhores práticas.

### Definição da Estrutura: Conceitos e Classes

Neste tópico são apresentados os conceitos principais com as possíveis definições de classe relacionadas a eles. Isso permite uma compreensão concretas dos conceitos envolvidos pela ontologia.

* **Herbicidas:**
* **Definição**: Herbicidas são substâncias químicas ou agentes biológicos formulados para controlar o crescimento, a reprodução e a disseminação de plantas daninhas, com o objetivo de minimizar seus efeitos negativos em áreas agrícolas e ambientais. Esta classe inclui informações sobre o nome do herbicida, sua fórmula química e concentração em formulações comerciais.
  + Classe: Produto químico
  + Propriedades: Nome, Fórmula Química, Concentração
* **Plantas Daninhas:**
* **Definição**: Plantas daninhas são organismos vegetais que crescem em locais indesejados e competem com culturas agrícolas, plantas ornamentais ou espécies nativas. A ontologia representa informações sobre o nome científico e nome comum das plantas daninhas.
  + Classe: Organismo
  + Propriedades: Nome Científico, Nome Comum
* **Imagem de Plantas Daninhas:**
* **Definição**: Uma imagem de plantas daninhas é uma representação visual que captura uma ou mais plantas daninhas em um determinado contexto. Esta classe inclui propriedades como a data de captura da imagem e sua resolução.
  + Classe: Dados
  + Propriedades: Data da Captura, Resolução
* **Efeitos de Herbicidas:**
* **Definição**: Os efeitos de herbicidas são eventos ou resultados observáveis que ocorrem após a aplicação de herbicidas a plantas daninhas. Os efeitos podem variar de mortalidade das plantas a inibição do crescimento. Esta classe contém informações sobre a data em que o efeito foi observado e o tipo de efeito.
  + Classe: Evento
  + Propriedades: Data do Efeito, Tipo de Efeito (por exemplo, Mortalidade, Inibição de Crescimento)
* **Processamento de Imagem:**
* **Definição**: O processamento de imagem refere-se à aplicação de algoritmos e técnicas computacionais para analisar, segmentar e extrair informações relevantes de imagens de plantas daninhas. Esta classe inclui informações sobre os algoritmos utilizados e suas configurações.
  + Classe: Tecnologia
  + Propriedades: Algoritmos Utilizados, Configurações
* **Aprendizado de Máquina:**
* **Definição**: O aprendizado de máquina envolve a criação e treinamento de modelos que podem automatizar a análise de imagens de plantas daninhas e a classificação de seus efeitos. Esta classe contém detalhes sobre os algoritmos de aprendizado de máquina empregados e os modelos treinados.
  + Classe: Tecnologia
  + Propriedades: Algoritmos Utilizados, Modelos Treinados
* **Sistema Computacional:**
* **Definição:** Um sistema computacional é a infraestrutura de hardware e software que suporta a aquisição, processamento e análise de imagens de plantas daninhas e seus efeitos. Esta classe engloba informações sobre o nome do sistema, sua descrição e versão.
  + Classe: Dispositivo
  + Propriedades: Nome, Descrição, Versão
* **Dados de Treinamento:**
* **Definição**: Dados de treinamento são conjuntos de informações utilizados para treinar modelos de aprendizado de máquina. Esta classe abrange os conjuntos de dados de imagem e resultados que servem como entrada para o treinamento dos modelos.
  + Classe: Dados
  + Propriedades: Conjunto de Dados de Imagem, Conjunto de Dados de Resultados (efeitos de herbicidas)
* **Resultados:**
* **Definição**: Os resultados incluem as saídas da análise, classificação e interpretação das imagens de plantas daninhas, indicando os efeitos de herbicidas. Essa classe contém informações sobre os resultados obtidos e a classificação dos efeitos.
  + Classe: Dados
  + Propriedades: Resultados da Análise, Classificação de Efeitos (por exemplo, Efeito Positivo, Efeito Negativo)
* **Usuário:**
* **Definição**: Uma entidade envolvida no uso, operação ou pesquisa relacionada ao sistema de identificação de efeitos de herbicidas. Esta classe contém detalhes sobre o nome do usuário e seu papel, como pesquisador ou operador do sistema.
  + Classe: Pessoa
  + Propriedades: Nome, Papel (por exemplo, Pesquisador, Operador do Sistema)

### Relações

Definir relações semânticas precisas entre os conceitos é fundamental para garantir a coerência e a utilidade da ontologia. A seguir, as relações são definidas com mais clareza:

* **Relação "Utiliza":**

**Definição:** A relação "utiliza" conecta a classe "Sistema Computacional" à classe "Processamento de Imagem" para representar o fato de que um sistema computacional utiliza tecnologias de processamento de imagem no contexto da identificação de efeitos de herbicidas. Essa relação é direcionada do sistema para a tecnologia de processamento de imagem.

* **Relação "Detecta":**

**Definição:** A relação "detecta" liga a classe "Processamento de Imagem" à classe "Efeitos de Herbicidas" e indica que o processamento de imagem é responsável por detectar e extrair informações relacionadas aos efeitos de herbicidas das imagens capturadas. Essa relação é direcionada do processamento de imagem para os efeitos de herbicidas.

* **Relação "Treina Com":**

**Definição:** A relação "treina com" estabelece uma conexão entre a classe "Aprendizado de Máquina" e a classe "Dados de Treinamento". Ela denota que o aprendizado de máquina utiliza conjuntos de dados de treinamento para treinar modelos de análise de imagens. Essa relação é direcionada do aprendizado de máquina para os dados de treinamento.

* **Relação "Realiza":**

**Definição:** A relação "realiza" liga a classe "Usuário" à classe "Ações" e reflete as atividades realizadas pelos usuários no contexto do sistema de identificação de efeitos de herbicidas. Os usuários executam ações como aquisição de imagens, treinamento de modelos e análise de efeitos.

### Restrições:

Definir restrições é fundamental para garantir a integridade e a consistência dos dados na ontologia. A seguir, são definidas as restrições relevantes:

* **Restrição na Propriedade "Data de Captura":**

**Definição:** A propriedade "Data de Captura" da classe "Imagem de Plantas Daninhas" deve seguir o formato de data e hora padrão para garantir que as datas de captura sejam registradas de forma uniforme. Isso ajuda na coleta e análise de dados temporais.

* **Restrição na Propriedade "Nome do Sistema":**

**Definição:** A propriedade "Nome do Sistema" da classe "Sistema Computacional" deve ser única em todo o conjunto de dados. Isso impede a duplicação de nomes de sistemas, garantindo a identificação exclusiva de cada sistema na ontologia.

* **Restrição na Propriedade "Nome do Usuário":**

**Definição:** A propriedade "Nome do Usuário" da classe "Usuário" também deve ser única em todo o conjunto de dados para evitar duplicações de nomes de usuário, garantindo a identificação exclusiva de cada usuário.

* **Restrição na Propriedade "Data do Efeito":**

**Definição:** A propriedade "Data do Efeito" da classe "Efeitos de Herbicidas" deve seguir o formato de data e hora padrão, assegurando a uniformidade nas datas de observação dos efeitos de herbicidas. Isso é crucial para análises temporais precisas.

* **Restrição na Propriedade "Tipo de Efeito":**

**Definição:** A propriedade "Tipo de Efeito" da classe "Efeitos de Herbicidas" deve ser escolhida a partir de um conjunto definido de tipos predefinidos, como "Mortalidade", "Inibição de Crescimento", para garantir a consistência na categorização dos efeitos.

## ESBOÇO DA ONTOLOGIA

A construção de um esboço de ontologia é um passo crucial no desenvolvimento de uma representação visual clara e concisa do domínio em questão. Utilizando a linguagem OntoUML (Unified Modeling Language for Ontologies), podemos criar um diagrama que expressa de forma precisa as entidades, conceitos, relações e restrições que compõem a ontologia para a identificação de efeitos de herbicidas em plantas daninhas.

O primeiro passo é identificar as principais entidades e conceitos do domínio. No contexto da ontologia em questão, teríamos entidades como "Herbicida", "Planta Daninha", "Imagem", "Efeito", "Processamento de Imagem", "Aprendizado de Máquina" e outras relacionadas.

Em seguida, estabelecemos as relações semânticas entre essas entidades. Por exemplo, a relação "Utiliza" pode conectar a entidade "Sistema Computacional" à "Tecnologia de Processamento de Imagem", indicando que o sistema utiliza essa tecnologia. Da mesma forma, a relação "Detecta" pode ligar a "Tecnologia de Processamento de Imagem" à "Efeitos de Herbicidas", indicando que essa tecnologia é responsável por detectar as características dos efeitos visuais nas imagens capturadas.

A linguagem OntoUML também permite a inclusão de restrições que garantem a integridade e consistência dos dados na ontologia. Por exemplo, uma restrição pode ser aplicada à propriedade "Data de Captura" para garantir que siga um formato de data e hora padrão.

Ao utilizar o aplicativo Visual Paradigm, podemos criar um diagrama OntoUML que representa graficamente essas entidades, relações e restrições. O Visual Paradigm oferece ferramentas intuitivas para a modelagem de ontologias, permitindo uma visualização eficaz do domínio e facilitando a compreensão de todos os conceitos envolvidos no desenvolvimento da ontologia. Este esboço da ontologia, representado por um diagrama OntoUML, serve como um guia visual valioso para o processo de implementação da ontologia, ajudando a garantir que todos os elementos essenciais do domínio estejam adequadamente modelados e relacionados.

Foi feita a divisão da ontologia em três visões, cada uma dedicada a um domínio específico do conhecimento (Computação, Agricultura e Bioquímica), adotando-se assim uma abordagem estratégica para organizar e representar de forma mais clara as diferentes perspectivas e elementos dentro da ontologia. Cada visão focaliza os conceitos e relações relevantes ao respectivo domínio, oferecendo uma representação mais especializada e detalhada. Os diagramas correspondentes a cada visão fornecem uma visualização intuitiva das interações e conexões entre os elementos-chave em cada domínio. Este método facilita a compreensão, implementação e manutenção da ontologia.

### Visão de Computação

Identifica as entidades e relações relacionadas a sistemas computacionais, processamento de imagem, aprendizado de máquina e dados de treinamento. Destaca as tecnologias, algoritmos e configurações específicas utilizadas no contexto da identificação de efeitos de herbicidas.

**Diagrama 1: Visão de Domínio Computação**  
Diagrama

Descrição gerada automaticamenteFonte: Elaboração do Autor

### Visão de Agricultura

Concentra-se em conceitos relacionados a herbicidas, plantas daninhas, imagens de plantas daninhas, efeitos de herbicidas e ações realizadas no campo agrícola. Reflete a interação entre a aplicação prática da ontologia e os processos agrícolas.

**Diagrama 2: Visão de Domínio Agricultura Diagrama

Descrição gerada automaticamente**   
Fonte: Elaboração do Autor

### Visão de Bioquímica

Aborda conceitos mais específicos relacionados às propriedades bioquímicas dos herbicidas, caracterizando suas fórmulas químicas, concentrações e efeitos nas plantas daninhas em um nível molecular. Destaca a relação entre as propriedades bioquímicas dos herbicidas e os efeitos observados.

**Diagrama 3: Visão de Domínio Bioquímica** Diagrama

Descrição gerada automaticamente  
Fonte: Elaboração do Autor

Essa abordagem dos domínios em módulos distintos permite uma compreensão mais aprofundada de cada domínio, simplificando a navegação e facilitando a colaboração entre especialistas de diferentes áreas. Cada visão contribui para a construção de um conhecimento integrado, promovendo a eficácia da ontologia em contextos multidisciplinares.

## MODELAGEM DA ONTOLOGIA

A construção da ontologia proposta foi realizada utilizando a plataforma Protégé Community, uma ferramenta de código aberto desenvolvida pela Stanford University, que oferece uma interface amigável para a modelagem ontológica. Ele foi escolhido como a ferramenta principal para o desenvolvimento da ontologia devido à sua reputação consolidada na comunidade de pesquisa em ontologias. Sua interface intuitiva e recursos robustos tornaram o processo de modelagem mais eficiente e acessível. A seguir, detalhamos o processo de modelagem e as decisões-chave tomadas durante o desenvolvimento.

### Estrutura da Ontologia

Inicialmente foram feitas as incluídas as declarações que indicam a criação de cada uma das classes com seus identificadores específicos (IRI ou abbreviatedIRI). Essas classes representam entidades no domínio da ontologia que está sendo modelada. A seguir, listamos algumas delas com suas respectivas definições:

* **AdverseEffect**: representa classes relacionadas a efeitos adversos advindos do uso de herbicidas.
* **Agronomy**: representa classes relacionadas ao campo da agronomia, abrangendo práticas e ciência agrícola.
* **Biochemist**: representa classes de profissionais com conhecimento na área de bioquímica, podendo incluir entidades associadas a processos bioquímicos e substâncias químicas.
* **Herbicide**: representa a classe principal relacionada a herbicidas, incluindo propriedades e características específicas desses produtos químicos.
* **ConvolutionalNeuralNetwork**: classe relacionada a redes neurais convolucionais, que faz a ligação com processamento de imagem ou aprendizado de máquina.
* **Crops**: classe relacionada a culturas agrícolas.
* **DigitalCamera**: representa uma classe relacionada a câmeras digitais, que faz conexão com a captura de imagens.
* **MachineLearning**: classe relacionada a técnicas de aprendizado de máquina, sugerindo uma aplicação no contexto da ontologia.
* **Weed**: Representa a classe relacionada a plantas daninhas.

Além da definição das Classes, foram incluídas as Propriedades de Objetos (Object Properties), que representam atributos de Classes, atribuindo-lhes características específicas. Listamos abaixo algumas dessas propriedades:

* **inheresIn:** propriedade que indica que algo inerente a um objeto está presente nele.
* **mediates:** propriedade de mediação entre dois objetos ou conceitos.
* **participatedIn:** propriedade que relaciona um objeto a uma participação em alguma atividade ou evento.
* **Captures:** propriedade que relaciona algo (por exemplo, uma câmera) com o ato de capturar algo (por exemplo, uma imagem).
* **Causes:** propriedade que indica a relação causal entre dois objetos ou conceitos.
* **developedBy:** Indica a relação entre um objeto e a entidade que o desenvolveu.
* **developes:** Indica a relação entre uma entidade e o objeto que ela desenvolve.
* **hasComponent:** Indica que um objeto tem um componente específico.
* **isComponentOf:** Indica que um objeto é um componente de outro objeto.
* **knows:** Indica a relação de conhecimento entre duas entidades.
* **Name, Resolution, dateTime, dosing, height, intensity, label, scientificName, width:** São propriedades de dados que armazenam informações específicas, como nome, resolução, data e hora, dosagem, altura, intensidade, rótulo, nome científico, largura etc.

Também temos as declarações de NamedIndividuals, em que cada objetos representam uma instância específica de uma classe na ontologia. seguem algumas observações sobre alguns desses indivíduos:

* **Alterações\_na\_Morfologia:** representa uma instância específica relacionada a alterações na morfologia de plantas ocasionada pela aplicação de algum herbicida.
* **Azevém, Buva, Capim-pé-de-galinha, Caruru, Feijao, Milho, Soja, Tiririca:** Representam instâncias específicas de plantas ou culturas.
* **Biochemist, Developer, EnforcementCommittee, Farmer:** Representam instâncias específicas de profissões ou papéis.
* **Plantação\_de\_Soja, Glifozado, Aplicação\_de\_Glifozato, Recomentdação\_de\_Aplicação, Foto\_de\_Erva\_Daninha, Feijão, Murcha:** Representam instâncias específicas relacionadas a culturas, herbicidas, aplicação de herbicidas, indicação de herbicidas, captura de imagem, plantas e estresse.
* **AdverseEffects** é uma instância de **Kind**.
* **Alterações\_na\_Morfologia** é uma instância da classe **AdverseEffects**.
* **Aplication** é considerado um tipo **kind** de entidade.
* **ApplicationProject** é considerado um tipo **kind** de entidade.
* **Azevém** é um tipo específico de **Weed**.
* **Biochemist** é considerado um tipo (**kind**) de entidade.
* **Buva** é um tipo específico de **Weed**.
* **Capim-pé-de-galinha** é uma instância da classe **Weed**;
* **Caruru** é outra instância da classe **Weed**.
* **ChemicalProduct** é uma instância da categoria **gufo**:Category.
* **Computation** é considerado um tipo **kind** de entidade.
* **ConvolutionalNeuralNetwork** é considerado um tipo **kind**.
* **Crops** também é considerado um tipo **kind**.
* **Cultivation** é uma instância de **Kind**;
* **Descoloração\_e\_Amarelecimento** é uma instância da classe **AdverseEffects**.

### Consulta à Ontologias

Para recuperar informações da Ontologia, são utilizadas consultas SPARQL desempenham um papel crucial na obtenção de dados contidos na ontologia, facilitando a extração de conhecimento estruturado. Abaixo estão alguns tópicos importantes relacionados a consultas SPARQL:

* **Prefixos:** Para **r**ealizar as consultas, primeiro é necessário incluir os prefixos que simplifica a digitação dos termos de busca. Além dos prefixos padrão dos objetos OWL, RDF Syntax e RDF Schema, adicionamos o prefixo da ontologia.

PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>

PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>

PREFIX : <https://raw.githubusercontent.com/leandrogrego/WeedEye/main/Ontology %20for%20weed%C2%B4s%20stress%20detection.owx#>

* **Recuperando Classes e Subclasses**: Para explorar a hierarquia de classes em uma ontologia, podem ser usadas consultas SPARQL para recuperar informações sobre classes e suas relações de subclasse.

Exemplo: Listar todas as classes e suas subclasses.

SELECT **?x** WHERE {

**?x** rdf:type owl:Class.

}

* **Recuperando Instâncias de uma Classe Específica:** Para obter instâncias de uma classe específica, podem ser criadas uma consulta SPARQL que identifiquem indivíduos associados a uma determinada classe.

Exemplo: Recuperar todas as instâncias da classe "Weed".

SELECT **?x** WHERE {

**?x** rdf:type owl:NamedIndividual.

OPTIONAL { **?x** rdfs:subClassOf :Weed}

}

* **Explorando Propriedades de Objeto:** Também pode ser criada consultas para analisar as propriedades de objeto na ontologia e entender as relações entre diferentes classes.

Exemplo: Listar todas as propriedades de objeto na ontologia.

SELECT DISTINCT **?property**

WHERE {

**?property** a owl:ObjectProperty.

}

## USOS POTENCIAIS

A ontologia proposta tem uma ampla gama de usos potenciais, abrangendo diferentes áreas e proporcionando benefícios significativos para a pesquisa e a aplicação prática. Alguns dos principais usos potenciais incluem:

* **Aprimoramento da Compreensão do Processo de Identificação de Efeitos de Herbicidas**

Descrição: A ontologia oferece uma representação semântica precisa do processo de identificação de efeitos de herbicidas, permitindo que pesquisadores e profissionais compreendam a complexidade e as nuances envolvidas.

* **Facilitação da Integração de Tecnologias de Processamento de Imagem e Aprendizado de Máquina**

Descrição: A ontologia atua como uma ponte semântica entre tecnologias de processamento de imagem e aprendizado de máquina, permitindo a integração harmoniosa dessas tecnologias para uma análise mais eficaz de imagens de plantas daninhas.

* **Padronização da Representação de Informações Relacionadas a Herbicidas**

Descrição: A ontologia estabelece padrões claros para a representação de informações relacionadas a herbicidas, plantas daninhas e efeitos, promovendo a uniformidade e a consistência nos dados.

* **Suporte à Tomada de Decisões em Agricultura e Pesquisa**

Descrição: Pesquisadores, agricultores e tomadores de decisão podem usar a ontologia como um recurso valioso para análise de dados e tomada de decisões informadas sobre o uso de herbicidas e práticas de manejo de plantas daninhas.

* **Ampliação do Conhecimento em Agricultura Sustentável**

Descrição: A ontologia contribui para o avanço do conhecimento em práticas agrícolas sustentáveis, auxiliando na identificação de estratégias de controle de plantas daninhas com menor impacto ambiental.

* **Suporte a Pesquisas e Desenvolvimentos Futuros**

Descrição: A ontologia servirá como uma base sólida para futuras pesquisas e desenvolvimentos no domínio da identificação de efeitos de herbicidas, permitindo uma colaboração mais eficaz e a integração de novos conhecimentos.

* **Facilitação da Compartilhamento de Conhecimento e Dados**

Descrição: A ontologia promove o compartilhamento de conhecimento e dados entre pesquisadores, instituições e organizações, enriquecendo a colaboração no campo da identificação de efeitos de herbicidas.

## CONSIDERAÇÕES

Nesse capítulo, apresentamos uma ontologia abrangente e semanticamente rica destinada a representar um sistema inovador de identificação de efeitos de herbicidas em plantas daninhas. A criação desta ontologia é um passo crucial para avançar na compreensão e na aplicação prática de técnicas avançadas de processamento de imagem e aprendizado de máquina no contexto agrícola e de pesquisa.

A ontologia não é apenas uma estrutura semântica; é uma ferramenta que pode capacitar pesquisadores, agricultores e profissionais com insights mais profundos e informações bem definidas. Ela fornece uma base sólida para a padronização de dados relacionados a herbicidas, plantas daninhas e seus efeitos, promovendo a interoperabilidade e a colaboração em todo o domínio.

À medida que a agricultura moderna enfrenta desafios crescentes, como a gestão eficaz de herbicidas e a busca por práticas agrícolas sustentáveis, a ontologia representará um ativo valioso para a tomada de decisões informadas e o avanço contínuo do conhecimento.

A ontologia não é apenas um marco de pesquisa, mas uma ferramenta prática que pode ser usada em diversos cenários, desde laboratórios de pesquisa até campos agrícolas. Ela é uma fonte de conhecimento, uma plataforma de integração de tecnologias e um impulsionador do progresso no domínio da identificação de efeitos de herbicidas em plantas daninhas

# 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.

BERNERS-LEE, T., HENDLER, J., & Lassila, O. (2001). **The Semantic Web: A New Form of Web Content That is Meaningful to Computers Will Unleash a Revolution of New Possibilities.** Acesso em 11/12/2023, disponível em <https://www.researchgate.net/publication/225070375>.

Guizzardi, G. (2005). **Ontological Foundations for Structural Conceptual Models**. ACM Transactions on Software Engineering and Methodology). 14(4), 369-426. Acesso em 11/12/2023, disponível em: <<http://www.inf.ufes.br/~gguizzardi/OFSCM.pdf>>;

McGuinness, D. L., & van Harmelen, F. (2004**). OWL Web Ontology Language Overview. W3C Recommendation**, World Wide Web Consortium (W3C), 2004. Acesso em 11/12/2023, disponível em < <https://www.w3.org/TR/owl-features>>.

Smith, M. K., Welty, C., & McGuinness, D. L. (2004). **OWL Web Ontology Language Guide. W3C Recommendation**, World Wide Web Consortium (W3C). Acesso em 11/12/2023, disponível em < <https://www.w3.org/TR/owl-guide>>.