

**ONTOLOGY FOR DOMAIN REPRESENTATION IN SMART GREENHOUSE  
ONTOLOGIA PARA REPRESENTAÇÃO DE DOMÍNIO EM CASA DE  
VEGETAÇÃO INTELIGENTE**

Braz Ferraz Filho ; <https://orcid.org/0000-0001-8791-5569>

Instituto Federal Catarinense - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Thalita Bez Batti ; <https://orcid.org/0000-0003-1023-5236>

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Alexandre Leopoldo Gonçalves ; <https://orcid.org/0000-0002-6583-2807>

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Roderval Marcelino ; <https://orcid.org/0000-0002-5489-0171>

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

## ONTOLOGY FOR DOMAIN REPRESENTATION IN SMART GREENHOUSE

## ONTOLOGIA PARA REPRESENTAÇÃO DE DOMÍNIO EM CASA DE VEGETAÇÃO INTELIGENTE

## Abstract

With the increase in population, the concern with food production combined with good crop management practices has been prioritized in the agricultural environment. One of the methods that stands out in this segment is production in greenhouses, where it is possible to control internal climatic factors, generating products with added value. With the advent of computer technologies, applications aimed at agriculture have grown exponentially, such as the use of sensing and artificial intelligence techniques, transforming these environments into intelligent places. Although there are a number of technological devices that can be used to improve the environmental aspects of greenhouses, these domains must be created in a structured way, so that it represents the knowledge involved between all agents and parameters. Considering these aspects, this study proposes an ontology-based model for smart greenhouses. To achieve this goal, it searches the literature for existing ontology models and implements, using the Protégé software, the classes and relationships of this domain. As a result, the ontology proves to be a facilitating tool in the creation of conceptual models that serve as a knowledge base and representation of cultivation environments in smart greenhouses, expressing aspects of the real world.

Keywords: Smart greenhouses; Ontology; Representation; Knowledge.

## Resumo

Com o aumento populacional, a preocupação com a produção de alimentos aliado a boas práticas de gestão de cultivos tem sido priorizada no meio agrícola. Um dos métodos que ganha destaque neste segmento, é a produção em casas de vegetação, onde é possível controlar os fatores climáticos internos, gerando produtos com valor agregado. Com o advento das tecnologias computacionais, aplicações voltadas para a agricultura têm crescido exponencialmente, como a utilização de sensoriamento e técnicas de inteligência artificial, transformando estes ambientes em locais inteligentes. Embora exista uma série de aparatos tecnológicos que podem ser empregados para melhorar os aspectos ambientais das casas de vegetação, estes domínios devem ser criados de forma estruturada, para que represente o conhecimento envolvido entre todos os agentes e parâmetros. Considerando estes aspectos, este estudo propõe um modelo com base em ontologia para casas de vegetação inteligentes. Para alcançar este intento, busca na literatura modelos de ontologias existentes e implementa, utilizando o software Protégé, as classes e relacionamentos deste domínio. Como resultado, a ontologia se mostra uma ferramenta facilitadora na criação de modelos conceituais que servem de base de conhecimento e representação de ambientes de cultivo em casas de vegetação inteligentes, expressando os aspectos do mundo real.

Palavras-chave: Casas de Vegetação Inteligente, Ontologia, Representação, Conhecimento.

## 1. INTRODUÇÃO

As Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) têm sido utilizadas na agricultura como forma de melhorar a gestão dos processos e automatizar atividades manuais visando o aumento da produtividade e a eficiência agrícola. Soluções como agricultura de precisão, redes neurais e os bancos de dados são frequentemente citados na literatura como mecanismos voltados ao controle de pragas, consequentemente melhoria da produção e uso racional dos recursos. Por ser recente, no entanto, o uso das tecnologias ainda carece de difusão e de compartilhamento, bem como de uma espécie de linguagem única que facilite a compreensão dos dados compartilhados e sua assimilação. Tão importante quanto a realização de pesquisas que desenvolvam soluções tecnológicas para a agricultura, é a criação de mecanismos capazes de tornar as informações acessíveis (Pérez et al., 2017).

Devido a ações meteorológicas diversas, o segmento agrícola acaba sofrendo consequências que prejudicam os cultivos e causam prejuízos aos produtores. Desta maneira, buscam-se soluções que amenizem os impactos causados por intempéries, sendo uma delas o cultivo em casas de vegetação.

As casas de vegetação são ambientes propícios para o cultivo que promovem um nível de controle climático interno, o que possibilita sua utilização em regiões com condições climáticas desfavoráveis (Ali & Hassanein, 2019). A gestão destes ambientes é um tanto quanto desafiadora, pois devem ser considerados aspectos como verificação do solo, utilização de recursos hídricos e elétricos (Algarín, Cabarcas & Llanos, 2017), e parâmetros que interferem diretamente na produção das culturas, como temperatura, umidade e luminosidade (Achour, Ouammi & Zejli, 2021). Entretanto, torna-se essencial o monitoramento e controle dos parâmetros internos deste ambiente, a fim de prever reações e mudanças, relacionadas também com as condições externas (Ali & Hassanein, 2019).

Compreende-se a necessidade de mecanismo que atuem para otimizar estes ambientes, porém, sistemas de controle para estes domínios possuem um nível elevado de complexidade, pois envolve um número considerável de variáveis que se relacionam (Algarín, Cabarcas & Llanos, 2017). Por este motivo, planejar, representar e explicitar o conhecimento envolvido na construção destes ambientes, considerando o nível de controle dos parâmetros, é uma tarefa essencial para projetar modelos de casas de vegetação eficientes e inteligentes.

Uma forma de representação de conhecimento conceitual de domínios específicos é utilizando ontologias (Kobashi, 2007), podendo ser aplicados em cenários agrícolas, como casas de vegetação. Goldstein, Fink & Ravid (2021) afirmam que a utilização de ontologias em atividades agrícolas pode contribuir para a partilha de conhecimento, viabilizando a criação de um conjunto semântico de sistemas agrícolas capaz de embasar a tomada de decisão. Seu objetivo, segundo W3C (2006), é facilitar o entendimento entre as partes, sejam elas humanas ou não, o que é feito por meio de representações semânticas baseadas em lógica.

Dado o seu padrão lógico, as ontologias são frequentemente utilizadas para a *Web Semântica*, com o objetivo de facilitar o compartilhamento de dados na web, bem como sua reutilização, além de fazer com que estes dados sejam compreendidos por máquinas (W3C, 2006). No entanto, devido ao seu caráter representativo, as ontologias passaram a ser utilizadas para reconhecer padrões e dar suporte às decisões em outras áreas.

Arnaud et. al. (2020) defendem a utilização de ontologias na agricultura afirmando que dados, rótulos e metadados devem usar vocabulários controlados de forma que sejam interoperáveis. Os autores mencionam o conceito FAIR, do inglês *findable, accessible, interoperable, and reusable* (encontrável, acessível, interoperável e reutilizável) para justificar a necessidade de utilização de ontologias na agricultura.

Ainda que a temática seja relevante, uma vez que a agricultura é essencial para a manutenção da existência humana, e que o uso de ontologias tem ganhado espaço em diversas áreas, Goldstein, Fink & Ravid (2021: 2: tradução nossa) afirmam que "a maioria dos estudos que propõem ontologias agrícolas carecem de um método claro de construção de ontologias e, mais importante, de procedimentos de avaliação explícitos." O que, segundo os autores, é essencial para que se reconheça o valor das ontologias para a relação pesquisa-prática, bem como para o aumento da confiabilidade das informações compartilhadas.

Considerando a literatura sobre ontologias voltadas para o segmento agrícola e a escassez de pesquisas que fazem uso de ontologias para domínios específicos, como no caso do cultivo em casas de vegetação, este estudo tem como proposta a especificação de um modelo ontológico conceitual para casas de vegetação, considerando os níveis de automação e inteligência no que tange os aspectos de controle de variáveis.

## 2. METODOLOGIA

Esta pesquisa, classificada como exploratória e aplicada, busca a construção de um modelo ontológico para representação de um domínio de casa de vegetação inteligente no segmento agrícola. Para alcançar este intento, além da busca na literatura sobre projetos voltados para o setor, é desenvolvido um modelo conceitual utilizando o software Protégé e conjunto com o *plugin OntoGraf* para facilitar a compreensão e representação do conhecimento do domínio pretendido.

Para verificar modelos voltados ao cultivo em casas de vegetação, com foco em ambientes inteligentes para monitoramento e controle, foi realizada uma busca sobre a temática nas bases de dados *IEEE Xplore*, *Web of Science (WoS)* e *Scopus*.

Para realização da busca, foram utilizados os termos "smart greenhouse", "greenhouse\*", "agricult\*" e "ontolog\*". Utilizando estas palavras-chave, a string construída ficou da seguinte forma: TITLE-ABS-KEY ("smart greenhouse" OR greenhouse\*) AND (agricult\* ) AND TITLE-ABS-KEY ( ontolog\* ). Como resultado, foram recuperados um total de 175 trabalhos nas três bases, publicados entre os anos de 2003 a 2016. Dentre os trabalhos recuperados, apenas 3 estavam diretamente relacionados a ontologias para representação de casas de vegetação inteligente. Estes trabalhos são utilizados como aporte teórico sobre o assunto e são apresentados na seção de trabalhos correlatos.

Referente às etapas para a construção da ontologia, estas foram divididas em: 1) definição do escopo, (2) investigação de ontologias pré-existentes, (3) definição das classes, (4) criação do modelo conceitual.

## 3 FUNDAMENTAÇÃO

### 3.1 CASAS DE VEGETAÇÃO

Dentre as diversas áreas de produção, a agricultura além de ser essencial, pois é dela que provém a maioria dos alimentos, é também um dos segmentos mais instáveis, uma vez que está sujeita às variações climáticas, quando o cultivo é a céu aberto. Deste modo, uma das soluções para esta área é a produção em locais protegidos, conhecidos como casas de vegetação ou estufas de plantas.

Casas de vegetação são estruturas (metal, madeira, concreto) cobertas com material translúcido (vidro, polietileno), que possibilitam uma maior controle sobre as variáveis climáticas, criando um ambiente favorável ao desenvolvimento das culturas (Áscoli et al., . 2015). A produção em casas de vegetação tem como principal vantagem a de cultivo em diversas estações do ano, pois facilita o controle das variáveis internas, e aumenta o número de germinação das plantas cultivadas, podendo ser empregado diferentes tipos de controle

para efetuar as ações no ambiente, tanto manual quanto automatizados (Fronza & Hamann, 2015).

Variáveis climáticas são fatores que influenciam diretamente na produção de culturas em cultivos em casas de vegetação, sendo os principais parâmetros a luminosidade, umidade e temperatura relativa (Shamshiri et al., 2018). Como a evolução das Tecnologias da Informação e Comunicação, uma nova geração de casas de vegetação inteligentes tem surgido, com sistemas que gerenciam resfriamento, umidade, luz, CO<sub>2</sub> e fertilização (La Notte et al., 2020), impulsionados pela demanda por ambientes com maior nível de eficiência e produtividade, considerando a utilização dos recursos naturais (Lin, Zhang & Xia, 2021). Existem inúmeras estratégias utilizando tecnologias computacionais com o intuito de transformar o ambiente da casa de vegetação ideal, com nível de controle de variáveis e ações, como modelagem matemática, inteligência artificial, algoritmos, sensores, entre outros (Zhang et al., 2020).

### 3.2 ONTOLOGIAS

Embora o termo ontologia tenha sua origem na filosofia, onde está relacionado aos aspectos existencialistas e estudos do ser (Gruber, 2009), também pode ser considerada sob a ótica da Ciência da Computação, sendo difundida principalmente na área de inteligência artificial (Poli & Obrst, 2010). Studer, Benjamins & Fensel (1998: 184) definem a ontologia como uma “especificação formal e explícita de uma conceitualização compartilhada”, sendo empregada em definições de vocabulários para expressar um cenário concreto (Guarino, 1998).

Descritas como modelos conceituais, as ontologias permitem a retratação de um determinado âmbito, que pode ser interpretado tanto em linguagem de máquina ou de forma visual (Studer, Grimm, & Abecker, 2007), composta por um conjunto de classes, relacionamentos e instâncias que são utilizadas para representar o conhecimento do domínio pretendido (Suárez-Figueroa et al., 2011).

Apesar de inúmeros autores que descrevem e classificam as diferentes formas de ontologias, Guarino (1998), faz uma síntese e classifica as ontologias em: 1) Ontologias genéricas, que descrevem conceitos gerais, não dependendo de domínio os problemas específicos; 2) Ontologias de domínio, tratam de um campo particular, representam um ambiente mais restritivo e específico; 3) Ontologias de tarefa, que têm semelhança com a anterior, mas com foco em tarefa ou atividade; e 4) Ontologias de aplicação, que carrega conceitos tanto das ontologias de domínio como de tarefa, sendo uma especialização de ambas, quando relacionadas.

Ontologias possibilitam representar o conhecimento e os conceitos relacionados a um cenário, provendo suporte para que ocorra a explicitação dos objetos e suas conexões, criando uma base robusta de raciocínio para um domínio (Kobashi, 2007).

### 3.3 TRABALHOS CORRELATOS

Em um estudo publicado em 2012, Goumopoulos descreveu um sistema baseado em ontologia, o qual integra a medição de dados agrícolas e o processo de análise, com o objetivo de dar suporte às decisões referentes ao processo de irrigação de lavouras.

No sistema proposto pelo autor, foi estabelecida uma estrutura conceitual sobre como o conhecimento gerado pelos sensores e sistemas pode se conectar com o conhecimento obtido a partir de estudos biológicos e como o resultado da interpretação do comportamento da planta e conexão entre os conhecimentos pode se transformar em suporte à tomada de decisão. Goumopoulos (2012) afirma que se faz necessária a utilização de sistemas de forma pró ativa, isto é, como forma de antecipar (planejar) as ações e tomar medidas com

racionalidade, baseando-se, por exemplo, nas necessidades individuais de cada planta, seja por água ou outros nutrientes.

Goumopoulos, O’Flynn & Kameas, em um estudo de 2014, propuseram um sistema de irrigação automatizada, baseado na abordagem da “planta falante”. Utilizando-se de uma ontologia para definir a lógica de aplicação de um sistema autônomo de irrigação, o sistema dá suporte à tomada de decisão com base no diagnóstico do estado da planta e, para o aprimoramento da ontologia utilizada, aplicou-se o processo de aprendizado de máquina para identificar falhas dos sensores e melhorar o diagnóstico do estado da planta (Goumopoulos, O’Flynn & Kameas, 2014). Os autores concluem que a integração por eles proposta pode ser utilizada para “fertilirrigação” bastando apenas atualizar as regras aplicadas à ontologia do sistema para que seja possível estendê-la e determinar onde e quando um fertilizante precisa ser utilizado, por exemplo. Os pesquisadores afirmam ainda que uma outra implantação possível do sistema é o controle de irrigação de zonas específicas em ambiente de estufa.

O último artigo encontrado nas bases de dados que versa sobre a temática de casas de vegetação inteligente aborda um modelo de sistema baseado em ontologia, cujo objetivo é diminuir a ação humana, uma vez que ele é capaz de lidar com as adversidades do cultivo por conta própria. Neste contexto, Bae et.al. (2014) afirmam que os serviços oferecidos pela TI nesta área são, basicamente, divididos em monitoramento e controle e que, uma vez que eles são subordinados a um usuário em particular, apresenta limitações no que tange o acompanhamento ativo das exceções do sistema e das variáveis ambientais. Basicamente, Bae et al. (2014) pensaram em um modelo ontológico que, utilizando-se de dados comuns - baseados em informações contextuais como temperatura, umidade, iluminação e concentração de CO<sub>2</sub>, viabiliza a colaboração natural entre os recursos computacionais para minimizar a intervenção humana.

## 5. MODELO PROPOSTO

Destacando que o uso de ontologias para representação de domínios tem como vantagem a simplificação e recuperação da informação, o modelo proposto utiliza esta estratégia para melhor compreender a hierarquia das classes e como os componentes se interconectam e suas relações como um todo. O modelo proposto tem o objetivo de representar o domínio da casa de vegetação inteligente, que pode ser utilizada como base de conhecimento, fazendo inferência aos processos que serão realizados e os agentes envolvidos.

Para o desenvolvimento da ontologia foi utilizado o software editor de ontologias Protégé, empregando a linguagem *Web Ontology language* (OWL), onde a ontologia exhibe suas divisões de classes, subclasses, instâncias, propriedades de dados e propriedade de objetos, que possibilitam o detalhamento do funcionamento sistêmico. No modelo proposto, o objetivo é generalizar a representação do ambiente de casa de vegetação inteligente, para que possa ser aplicado em diferentes culturas.

### 5.1 DEFINIÇÃO DO ESCOPO

Como passo inicial, foi definido o escopo da ontologia, sua finalidade, agentes envolvidos, parâmetros e variáveis a serem consideradas. Buscando esclarecer quais as principais informações deveriam constar no modelo, foram elaboradas 5 questões norteadoras gerais com base em conceitos encontrados na literatura. No Quadro 1 é possível verificar as perguntas definidas.

Quadro 1 - Perguntas de competência.

1 - Quais variáveis devem ser monitoradas?
2 - Que atuadores devem ser empregados para condicionar o ambiente?
3 - Variáveis externas possuem influência no domínio?
4 - As culturas possuem set point específicos?
5 - Questões energéticas podem dificultar a utilização do modelo?

Fonte: autores.

Estas perguntas servem como guia para a construção da proposta, porém podem sofrer alterações e inclusões caso necessário para auxiliar na melhoria e maior especificação das informações.

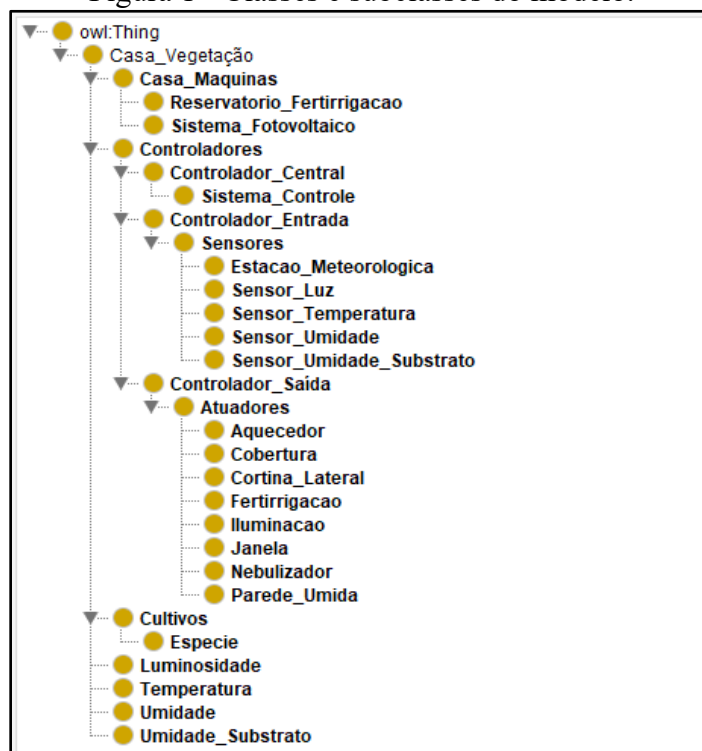
## 5.2 REUTILIZAÇÃO DE ONTOLOGIAS PRÉ-EXISTENTES

Foi utilizado como base a ontologia proposta por Bae et al. (2014), no artigo intitulado *Context-Aware Control Service Model Based on Ontology for Greenhouse Environment*.

## 5.3 DEFINIÇÃO DOS TERMOS E RELACIONAMENTOS

As classes e subclasses que compõem o modelo ontológico da casa de vegetação podem ser visualizados na Figura 1. Estas classes representam os componentes que configuram o domínio.

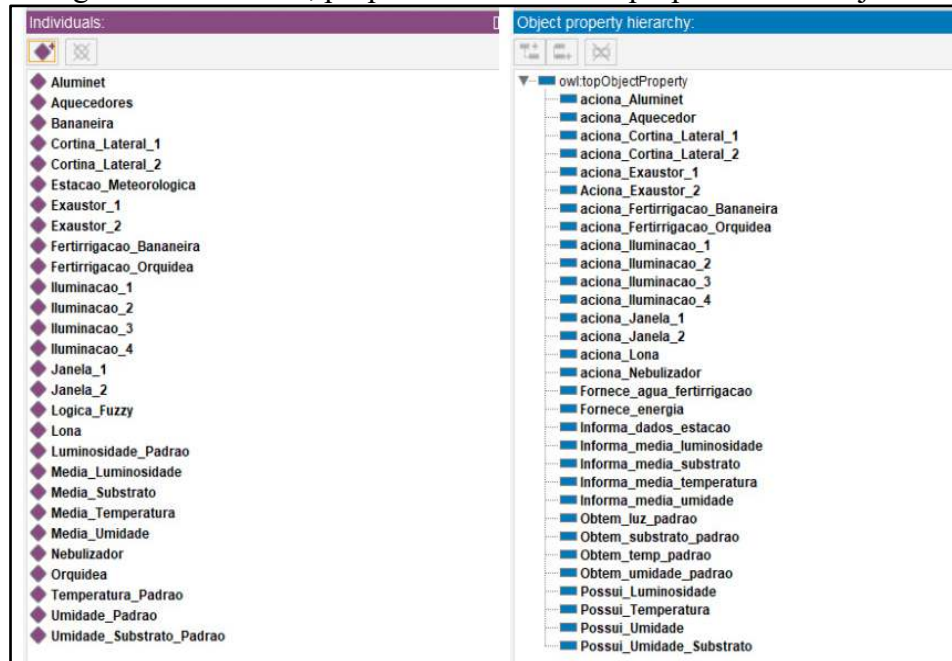
Figura 1 - Classes e subclasses do modelo.



Fonte: Autores.

Por meio da Figura 2, é possível observar as instâncias (*Individuals*) do modelo (na cor roxa) e as propriedades de objetos (em azul). Estes parâmetros são utilizados para criar os relacionamentos e instâncias entre as classes.

Figura 2 - Instâncias, propriedade de dados e propriedade de objetos.

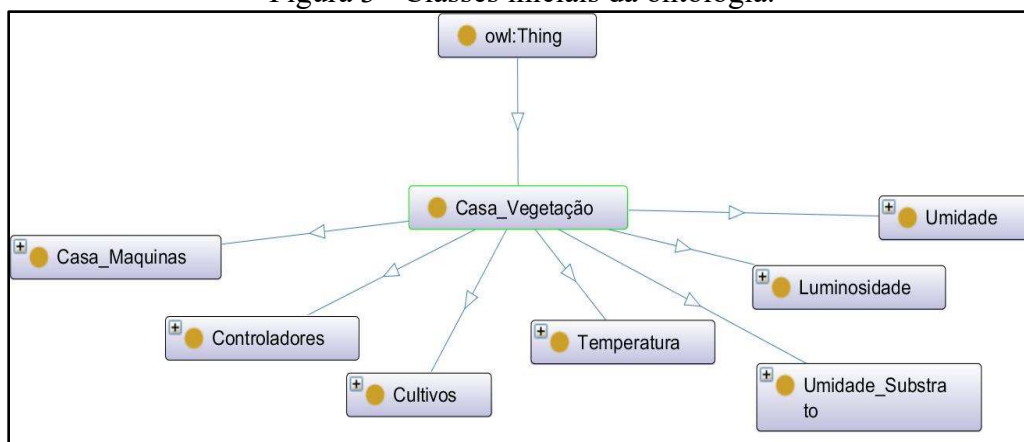


Fonte: Autores.

#### 5.4 APRESENTAÇÃO DO MODELO

Nesta etapa é explicitado o modelo de forma gráfica, fazendo uso do plugin OntoGraf. Na Figura 3, são explicitadas as classes iniciais da ontologia, tendo como classe central a “Casa\_Vegetação” e suas ramificações, sendo elas: 1) Temperatura, Luminosidade, Umidade e Umidade\_Substrato, subclasses relacionadas às variáveis; 2) Cultivos, classe que pode conter as culturas produzidas; 3) Casa\_Maquinas, local para armazenar equipamentos; 4) Controladores, subclasse responsável por efetuar as ações no ambiente.

Figura 3 - Classes iniciais da ontologia.

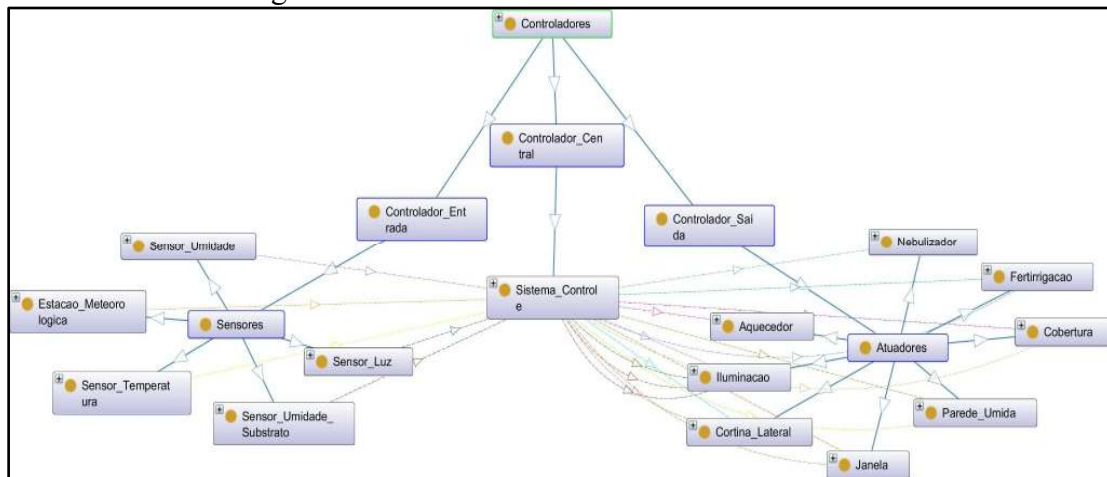


Fonte: Autores.



Por meio da Figura 4, é explicitada com mais detalhes a classe “Controladores”, onde tem-se a subdivisão em três subclasses, sendo elas: Controlador\_Entrada, Controlador\_Saida e Controlador\_Central. O Controlador\_Entrada, como é possível observar na Figura 2, é responsável por abarcar a subclasse “Sensores”, onde tem-se os sistemas de monitoramento das variáveis de ambiente (sensores de umidade, luminosidade, temperatura, umidade do substrato e a estação meteorológica).

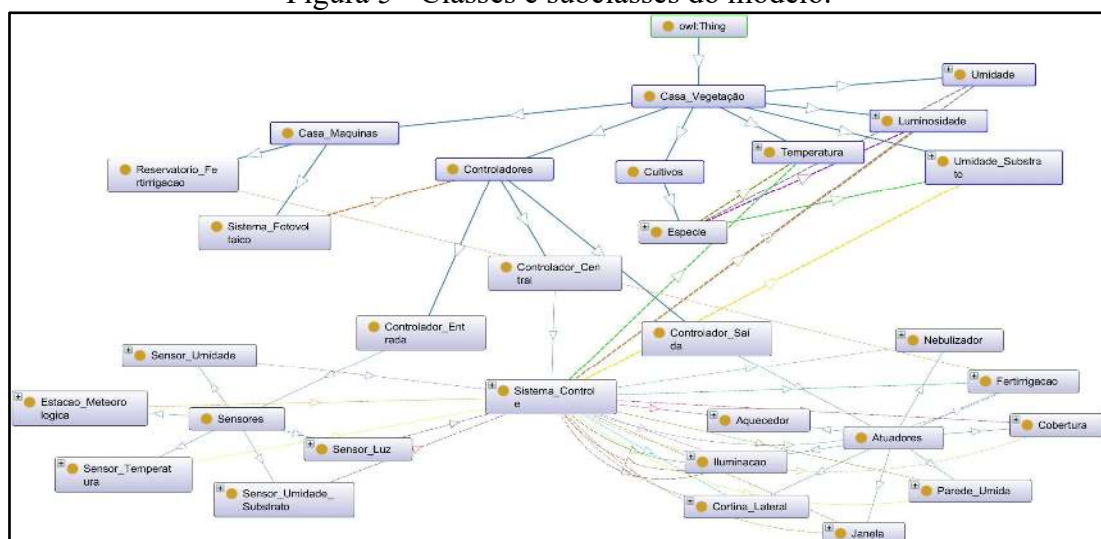
Figura 4 - Classe controladores e suas subclasses.



Fonte: Autores.

No Controlador\_Saida, subclasse que engloba todos os equipamentos que atuam no ambiente, com o intuito de torná-lo ideal para os cultivos, tem-se a subclasse “Atuadores” e suas ramificações (nebulizador, fertirrigação, cobertura, parede úmida, janelas, cortinas, iluminação e aquecedor). E por fim tem-se o Controlador\_Central, que conta com a subclasse “Sistema\_Control”, que efetua a lógica de todo o funcionamento do sistema, recebendo as leituras dos sensores e acionando os atuadores com base nos parâmetros ideais pré-estabelecidos para o ambiente da casa de vegetação. Em uma visão geral da ontologia da casa de vegetação, a Figura 5 traz todas as classes e subclasses presentes, possibilitando a observação dos relacionamentos existentes.

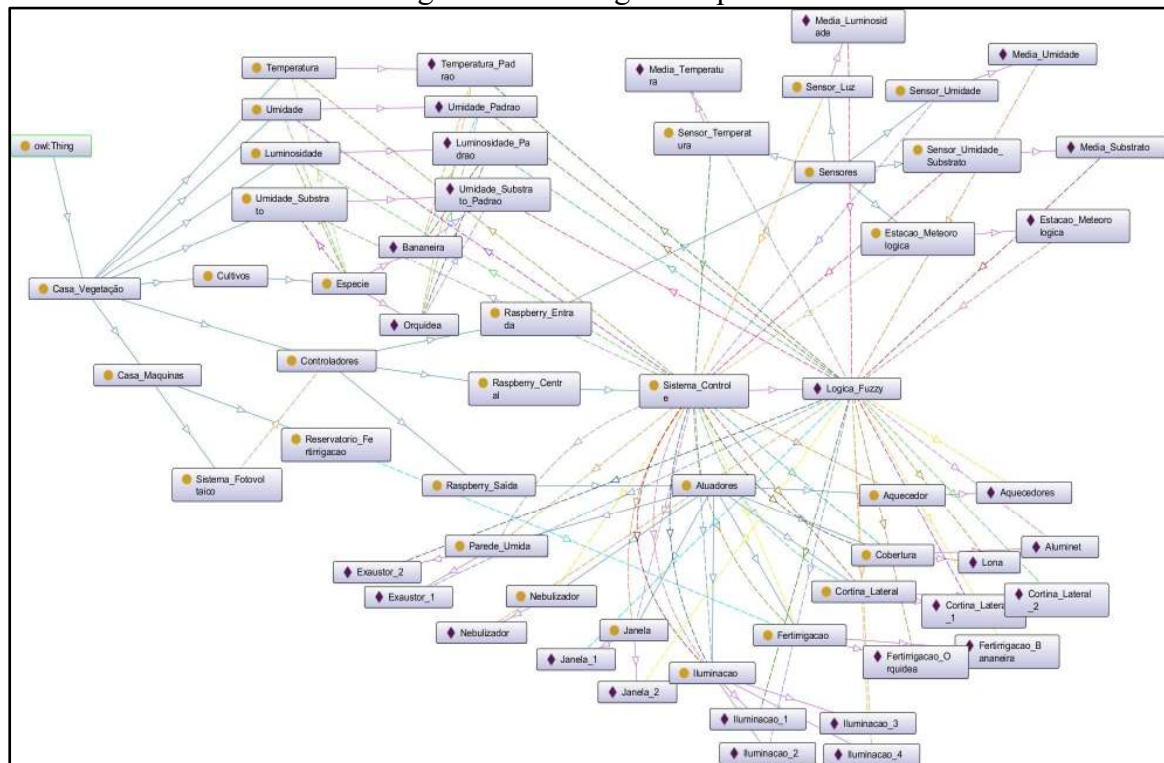
Figura 5 - Classes e subclasses do modelo.



Fonte: Autores.

A Figura 6 exibe todas as classes, subclasses e instâncias interconectadas no modelo ontológico, formando um grande mapa do domínio da casa de vegetação inteligente.

Figura 6 - Ontologia completa.



Fonte: Autores.

Para melhor compreender o funcionamento do modelo, na Figura 7 é exibido um fluxograma com os principais eventos que podem ocorrer quando este é instanciado.

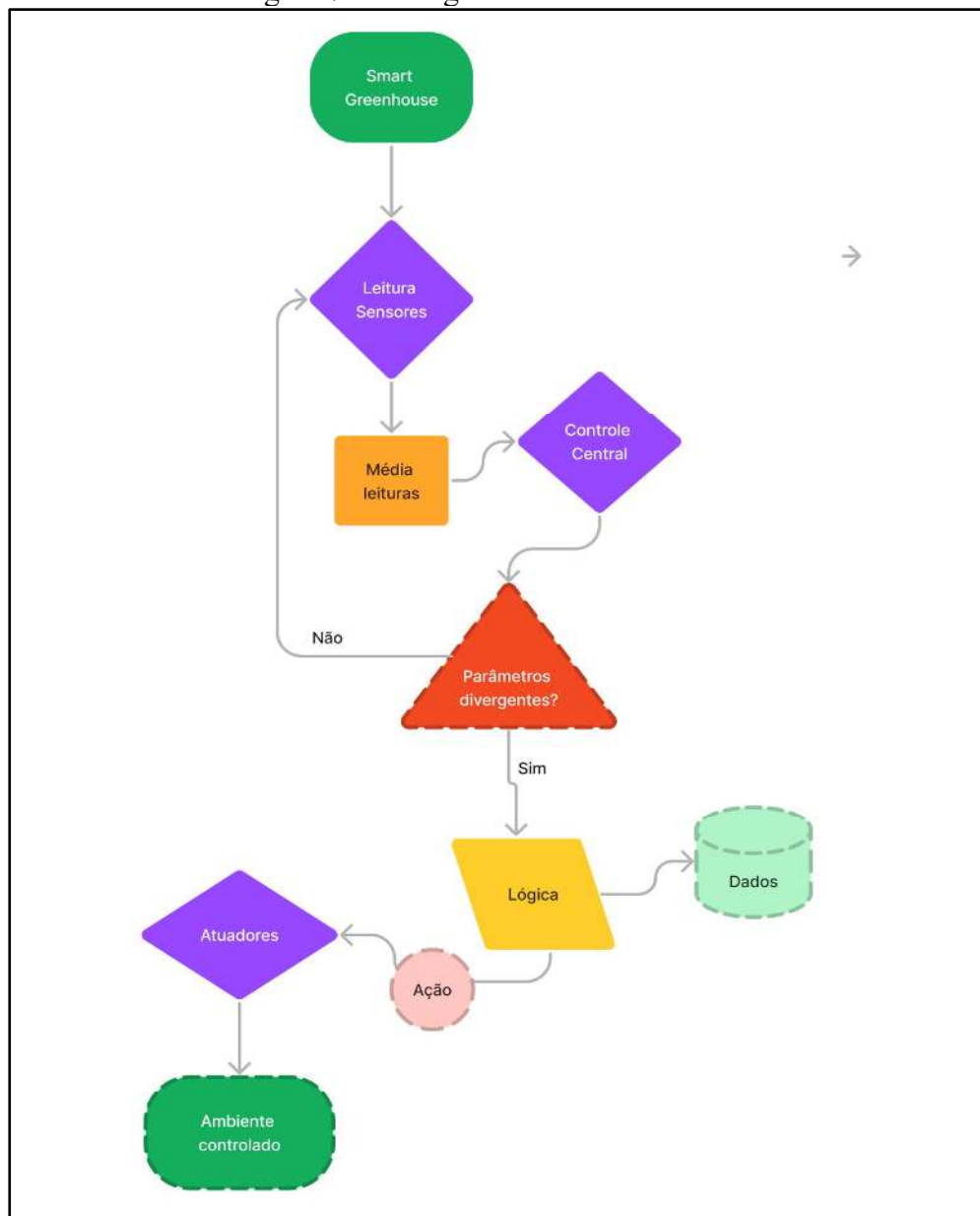
Descrevendo a lógica de funcionamento do domínio da casa de vegetação inteligente, tem-se como passo inicial o monitoramento do ambiente efetuado pelo controlador de entrada, ou seja, a leitura efetuada por meio dos sensores (temperatura, umidade, umidade do substrato, luminosidade, estação meteorológica). No passo seguinte, é efetuada a média das leituras que são posteriormente enviadas ao Controlador central.

O Controlador central verifica as leituras recebidas e confronta com os parâmetros estabelecidos previamente e por meio de controles lógicos (inteligência artificial), realiza a tomada de decisão mais assertiva. Assim, o Controlador central envia mensagens de ações a serem executadas pelo Controlador de saída, representado pelos atuadores (janelas, exaustores, aquecedores, irrigação, cortinas, nebulização, iluminação, parede úmida, coberturas), com o objetivo de tornar o ambiente propício para o desenvolvimento das culturas.

Os ciclos de leituras e ações se repetem em determinado tempo, para que o clima interno seja ideal, observando que todas estas ocorrências são registradas em bancos de dados, para consultas posteriores, permitindo também o monitoramento em tempo real.

A ontologia pode facilitar a construção de projetos, uma vez que possibilita a visualização das hierarquias e relacionamentos entre os agentes que a compõem o domínio, bem como a caracterização dos componentes.

Figura 7 - Fluxograma de funcionamento.



Fonte: Autores.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo propôs um modelo conceitual baseado em ontologia para um domínio de casa de vegetação inteligente. Para alcançar este objetivo, além de embasamento teórico, a ontologia foi desenvolvida com o auxílio da ferramenta Protégé. Assim, tem-se a representação do domínio pretendido, servindo como base de conhecimento.

Modelos baseados em ontologia, contribuem para construção de instâncias reais, uma vez que representam as características do domínio, possibilitam coletar e armazenar o conhecimento específico e raciocinar sobre estas informações. Estes aspectos podem ser facilitadores no processo de tomada de decisão, uma vez que é possível identificar por meio de ontologias e representação do conhecimento, todas as etapas, eventos e agentes que fazem parte do domínio pretendido.

Ontologias têm muito a contribuir com o segmento agrícola, pois além de representação, podem ser base de conhecimento para especificação, armazenamento,

consultas e compartilhamento de informações. Para trabalhos futuros, os autores pretendem aplicar o modelo em um cenário real, na produção de mudas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achour, Y., Ouammi, A., & Zejli, D. (2021). Technological progresses in modern sustainable greenhouses cultivation as the path towards precision agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 147, 111251.
- Algarín, C. R., Cabarcas, J. C., & Llanos, A. P. (2017). Low-Cost Fuzzy Logic Control for Greenhouse Environments with Web Monitoring. *Electronics*, 6(4), 71-82.
- Ali, A., & Hassanein, H. S. (2019). Wireless Sensor Network and Deep Learning For Prediction Greenhouse Environments. *Proceedings of the International Conference on Smart Applications, Communications and Networking (Smartnets)*, Sharm El Sheikh, 1-5.
- Arnaud, E. et al. (2020). The Ontologies Community of Practice: a CGIAR initiative for big data in agrifood systems. *Patterns*, 1(7), 100105.
- Áscoli, A. A. et al. (2015). Ambientes protegidos e substratos para mudas de bocaiuva oriundas do campo. *Revista de Agricultura Neotropical*, 2(3), 23-28.
- Bae, N. J. et al. (2014). Context-Aware Control Service Model Based on Ontology for Greenhouse Environment. *Lecture Notes In Electrical Engineering*, 321-326.
- Fronza, D., & Hamann, J. J. (2015). *Viveiros e propagação de mudas*. Santa Maria: UFSM.
- Goldstein, A., Fink, L., & Ravid, G. (2021). A Framework for Evaluating Agricultural Ontologies. *Sustainability*, 13(11), 63-87.
- Goumopoulos, C. (2012). An Autonomous Wireless Sensor/Actuator Network for Precision Irrigation in Greenhouses. *Lecture Notes In Electrical Engineering*, 1-20.
- Goumopoulos, C., O'Flynn, B., & Kameas, A. (2014). Automated zone-specific irrigation with wireless sensor/actuator network and adaptable decision support. *Computers And Electronics In Agriculture*, 105, 20-33.
- Gruber, T. (2009). Ontology. In: Liu, L., & Özsu, M. T. (Eds.). *Encyclopedia of database systems*, Springer-Verlag, 2009.
- Guarino, N. (Ed.). (1998). Formal ontology in information systems: *Proceedings of the first international conference (FOIS'98)*, June 6-8, Trento, Italy (Vol. 46). IOS press.
- Kobashi, N. Y. (2007). Fundamentos semânticos e pragmáticos da construção de instrumentos de representação de informação. *Data GramZero - Revista de Ciência da Informação*, 8 (6).

La Notte, L. et al. (2020). Hybrid and organic photovoltaics for greenhouse applications. *Applied Energy*, 278, 115582.

Lin, D., Zhang, L., & Xia, X. (2021). Model predictive control of a Venlo-type greenhouse system considering electrical energy, water and carbon dioxide consumption. *Applied Energy*, 298, 117163.

Pérez, C. C. P. et al. (2017). Empleo de las TIC para la gestión del conocimiento y su contribución al desarrollo agroalimentario. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 11(3), 114-125.

Poli, R., & Obrst, L. (2010). The interplay between ontology as categorial analysis and ontology as technology. In: Poli, R., Healy, M., & Kameas, A. (Eds.) *Theory and applications of ontology: Computer applications*, Springer, 2010, 1-26.

Shamshiri, R. R. et al. (2018). Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: a transition to plant factories and urban agriculture. *International Journal Of Agricultural And Biological Engineering*, 11(1), 1-22.

Studer, R., Benjamins, V. R., & Fensel, D. (1998). Knowledge engineering: principles and methods. *Data & knowledge engineering*, 25(1-2), 161-197.

Studer, R., Grimm, S., & Abecker, A. (2007). *Semantic web services*. Springer.

Suárez-Figueroa, M. C. et al. (2011). *Essentials in ontology engineering: methodologies, languages, and tools*.

W3C. (2006). *Ontology Driven Architecture and Potential Uses of the Semantic Web in Systems and Software Engineering*. Disponível em: <http://www.w3.org/2001/sw/BestPractices/SE/ODA/>. Acesso em: set. 2022.

Zhang, S. et al. (2020). Methodologies of control strategies for improving energy efficiency in agricultural greenhouses. *Journal Of Cleaner Production*, 274, 122695.