

SustenAgro Sistema de Apoio à Decisão baseado em Ontologias e definido por uma Linguagem de Domínio Específico.

John F. Garavito¹, Dilvan de A. Moreria²

Universidade de São Paulo,

INSTITUTO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DE COMPUTAÇÃO

Avenida Trabalhador São-carlense, 400 - Centro CEP: 13566-590

São Carlos, São Paulo, Brasil

Katia R. Evaristo

Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, Brazil

Abstract

Resumo

Keywords: SAD, SustenAgro, Ontologia, Web Semântica, Domain Specific Language

1. Introdução

Os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) são sistemas software que organizam e processam dados de um domínio através de métodos e modelos matemáticos que suportam a análise, comparação e escolha de alternativas no processo de decisão (Tweedale et al., 2016). Os SADs dependem do conhecimento dos especialistas, pois eles definem como organizar os dados e processá-los, este conhecimento fica implícito nos componentes desse sistema software (Evans, 2003).

O SAD SustenAgro integra o conhecimento dos especialistas do domínio na implementação do método SustenAgro que define a avaliação da sustentabilidade do sistema produtivo de cana-de-açúcar no centro-sul do Brasil (Oliveira Cardoso, 2013). Este método processa as características da unidade produtiva (usina ou fazenda produtora de cana-de-açúcar), para gerar índices e recomendações que permitam avaliar a sustentabilidade e suportar a tomada de decisões.

O conhecimento dos especialistas do SAD SustenAgro é caracterizado pela complexidade, interdisciplinariedade e

continua mudança. Durante o desenvolvimento deste SAD os programadores de software envolveram-se em um processo de comunicação e interpretação do conhecimento dos especialistas que dificultou o desenvolvimento de software.

A partir desta experiência foi identificado o problema da inexistência de um meio de representação de conhecimento para definir SADs de avaliação, que tenha um formato computável, entendível e acessível pelos especialistas do domínio. Este problema levou a pesquisar sobre sistemas de representação de conhecimento que permitam modelar o conhecimento dos especialistas em formatos computáveis.

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é suportar a definição de conhecimento do domínio no SAD SustenAgro por parte dos especialistas em sustentabilidade. Para isso foi definido um método baseado em uma ontologias da web semântica e em uma DSL que em conjunto permitem representar o conhecimento dos especialistas em sustentabilidade de maneira computável.

O SAD SustenAgro utiliza o conhecimento dos especialistas na organização e processamento dos dados e na apresentação de resultados das avaliações de sustentabilidade das unidades produtivas com a finalidade de avaliar a sus-

Email addresses: john.gar.sua@usp.br (John F. Garavito), dilvan@icmc.usp.br (Dilvan de A. Moreria)

¹Master Degree Student

²PhD. Professor

tentabilidade e fornecer recomendações que permitam aos usuários tomar decisões em vários aspectos das unidades produtivas avaliadas.

Os especialistas do domínio são os autores do processo de avaliação, por esta razão foram procuradas maneiras que permitam que eles mesmos representem o conhecimento no SAD SustenAgro, permitindo uma definição feita pelos autores do método de avaliação da sustentabilidade.

Este artigo está organizado da seguinte forma. Seção 3 apresenta os trabalhos relacionados. Seção 4 descreve a metodologia composta das ontologias e das DSLs. Seção 5 apresenta a avaliação do sistema. Seção 6 apresenta os resultados. Seção 7 apresentará uma discussão. Seção 8 apresentará as conclusões.

3. Trabalhos relacionados

Bonacin et al. (2013)

(Roussey et al., 2010) apresenta um afirma que o uso ontologias têm sido realizado em várias aplicações relacionadas a agricultura

4. SAD SustenAgro

Dada a complexidade envolvida no processo de avaliação da sustentabilidade em sistemas de produção agrícola, os pesquisadores da Embrapa Meio Ambiente trabalharam na definição de métodos que permitissem avaliar a sustentabilidade de maneira integral (Singh et al., 2012).

O método SustenAgro foi o resultado desse esforço por parte dos especialistas em sustentabilidade e agricultura da Embrapa Meio Ambiente, ele permite avaliar o sistema produtivo de cana-de-açúcar no centro-sul do Brasil. Os indicadores de sustentabilidade são o principal componente do Método SustenAgro, permitindo caracterizar as unidades produtivas (Oliveira Cardoso, 2013). Os aspectos mais relevantes das unidades produtivas são representados nos indicadores, que são uma prática do setor agrícola (Olsson et al., 2009).

Evans (2003) explica que existe uma necessidade de modelar o conhecimento chave de um domínio em um modelo, para permitir a comunicação e colaboração entre especialistas de domínio e os desenvolvedores, pelo qual o modelo de conhecimento dos especialistas foi o objeto de pesquisa. A procura de modelos para representar o conhecimento dos especialistas do domínio, permitiu identificar que as

ontologias da web semântica satisfazem tais requisitos de modelagem (Berners-Lee et al., 2001).

As ontologias representam a complexidade do conhecimento dos especialistas deste domínio (Simon, 1991), integram o conhecimento de diferentes fontes e flexibilizam os modelos ante as mudanças.

A continuação será apresentados os conceitos fundamentais usados na definição do SAD SustenAgro.

Metodologia

A metodologia que direcionou o desenvolvimento do SAD SustenAgro foi SCRUM permitindo integrar práticas ágeis no desenvolvimento do sistema Schwaber and Beedle (2002). Nesse contexto, o termo ágil refere-se ao desenvolvimento em tempos curtos e geração de protótipos facilmente adaptáveis às mudanças. Esta metodologia é cíclica pelo que cada etapa da metodologia foi realizada várias vezes, sendo necessário redesenhar os componentes, devido a que em cada ciclo foram identificados novos requisitos.

A metodologia de desenvolvimento das web User Interfaces foi dirigida por meio do enfoque User Centered Design, permitindo identificar os requisitos dos usuário por meio das seguintes técnicas: User Stories, Cenários, Storyboard, Mockups e os protótipos de interface gráfica.

O principal componente do SAD SustenAgro foi o modelo de dados, que deve suportar a contínua mudança do conhecimento do domínio de sustentabilidade. Pelo qual foi assumida uma metodologia de desenvolvimento que adapte-se as mudanças em durante cada uma das fases do desenvolvimento do SAD.

O modelo de dados usado foi uma ontologia da web semântica e a metodologia realizada, começou com a definição de mapas conceituais por meio da ferramenta Cmap Tools³. Os mapas conceituais foram definidos com o acompanhamento de um grupo de especialistas em modelagem de conhecimento. Esse processo começou em uma reunião da equipe na Embrapa Informática Agropecuária (situada situada na Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP).

A figura 1 apresenta cada uma das etapas da metodologia para modelar as ontologias a partir dos mapas conceituais, cada etapa foi realizada e em algumas foi necessário voltar na etapa anterior para redefinir os modelos.

³website Cmap Tools <http://cmap.ihmc.us/>

Após realizada a modelagem e definir ela em um formato computável, o especialista do domínio definiu perguntas de interesse, com as quais os modeladores definiram consultas que o sistema deverá responder segundo os resultados esperados, conseguindo validar e ajustar o modelo até ter um protótipo confiável.

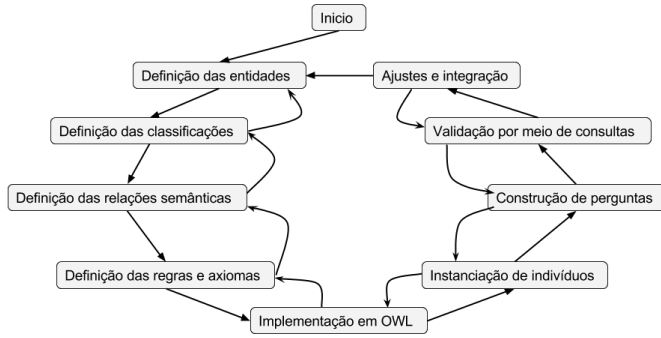


Figura 1: Metodologia de definição das ontologias

A continuação será apresentado o SAD SustenAgro, os principais componentes dele e a arquitetura, que permitem a definição do conhecimento do SAD SustenAgro por parte dos especialistas de sustentabilidade na agricultura.

Componentes de SustenAgro

Os SAD geralmente recebem uma entrada, fazem o processamento dela e retorna resultados que são analisadas pelo tomador(es) de decisão a través da tecnologia computacional (Tweedale et al., 2016). O SAD SustenAgro complementa este proposito por meio de ontologias que servem para representar o conhecimento de especialistas do domínio e DSLs que servem para customizar o comportamento dos SADs

A seguinte figura apresenta a arquitetura do SAD SustenAgro:

1. Ontologia do domínio: ontologia que representa os conceitos do domínio, avaliação da sustentabilidade do sistema produtivo de cana-de-açúcar, ela foi desenvolvida junto com os especialistas da Embrapa Meio Ambiente. Esta ontologia é a base para o sistema SustenAgro porque permite estabelecer os conceitos fundamentais que são utilizados pelo sistema, entre eles: indicadores, componentes de indicadores, índices, dimensões da sustentabilidade, recomendações e o método de avaliação.

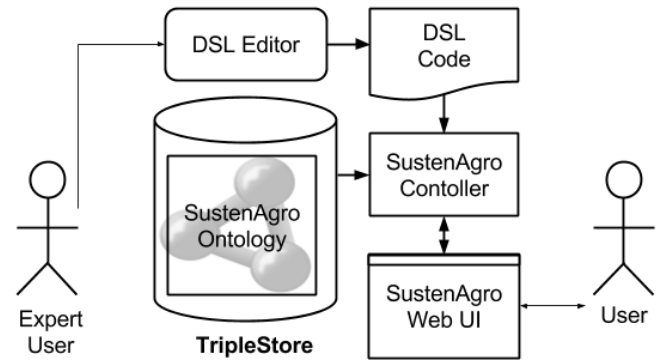


Figura 2: Arquitetura do SustenAgro

2. DSL Code: representa as instruções definidas pelos especialistas que complementam os conceitos das ontologias permitindo definir o SAD SustenAgro. A definição é feita em termos dos componentes, como são: os conceitos a avaliar, os métodos matemáticos e a apresentação do resultado da avaliação.
3. DSL Editor: Uma ferramenta web que permite editar as instruções da DSL do SAD SustenAgro, permitindo acrescentar novo conhecimento e atualizar o existente, realizando as mudanças no SAD em tempo real.
4. SustenAgro Controller: Controlador que tem o proposito de interpretar as instruções da DSL e gerenciar os conceitos da ontologia, para implementar o método de avaliação e gerar as web UIs e os web components que permitem a visualização do SAD SustenAgro.
5. SustenAgro Web UI: representa as interfaces gráficas do SAD que estão compostas de widgets (elementos da UI), e permitem a visualização e interação do usuário final com o SAD SustenAgro.

Os usuários do SAD SustenAgro são:

- Os especialistas que usam a DSL que permite formatar as perguntas aos usuários finais, definir o método de avaliação e gerar o relatório de cada análise.
- Os usuários finais: que usam o sistema para avaliar a sustentabilidade nas unidades produtivas

As ontologias usaram o banco de dados baseado em grafos Blazegraph, como triplestore para armazenar os fatos semânticos, fornece armazenamento e a recuperação de triplas no padrão RDF. (Rusher, 2003).

4.1. Ontologia do domínio avaliação da sustentabilidade do sistema produtivo de cana-de-açúcar

Allemang and Hendler (2011) definem as ontologias, no contexto da Web Semântica, como um esquema de representação que permite conceitualizar e estruturar conhecimento, permitindo a interpretação por computadores, com o objetivo de compartilhar conhecimento entre humanos e computadores.

Ontologias da web semântica tem um papel fundamental na criação de um meio de descrição de conhecimento por parte dos especialistas. Porém, a definição de uma ontologia não é uma tarefa trivial, pelo que existe dificuldade por parte dos especialistas do domínio ao definir as ontologias. Identificando que as ontologias não são uma solução suficiente devido a que os especialistas do domínio em sustentabilidade e agricultura não têm um conhecimento detalhado sobre a modelagem de conhecimento usando os padrões da web semântica. Pelo qual as ontologias foram complementadas com uma Domain Specic Language (DSL) que permite definir o conhecimento em termos dos especialistas.

A figura 3 representa um mapa conceitual com os principais conceitos modelados e como estão relacionados entre eles, com etiquetas em cada relação dos conceitos que permitem identificar a relação entre os dois conceitos.

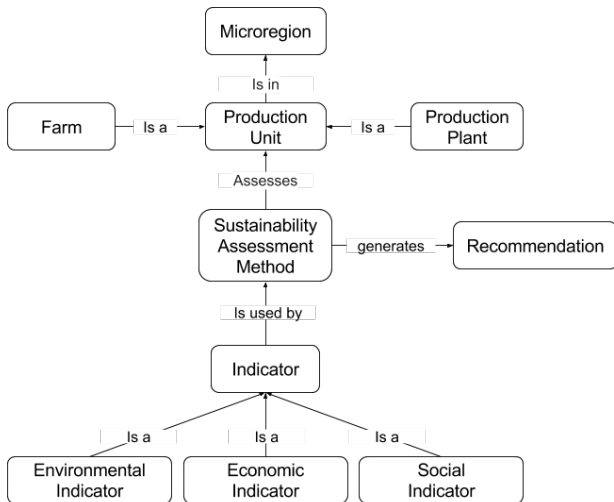


Figura 3: Mapa conceitual da ontologia

Exemplos dos conceitos modelados são: *Production Unit*, *Microregion*, *Indicator*, *Categorical*; os quais são vinculados por meio do método de avaliação de sustentabilidade. As ontologias da web semântica permitem a

integração de conceitos, inclusive quando pertencem a domínios sem relação aparente, elas também são compatíveis com as tecnologias web, permitindo o uso e integração por outros sistemas dado que está em um formato padronizado.

A continuação serão apresentadas as principais classes modeladas na ontologia do domínio de avaliação da sustentabilidade.

Production Unit

Representa as organizações que podem ser avaliadas pelo sistema SustenAgro para obter avaliações da sustentabilidade, atualmente podem ser *Fornecedores de cana-de-açúcar* e / ou *Usinas processadoras de cana-de-açúcar*, cada processo de avaliação requer dados que definem as unidades produtivas através das propriedades que os conformam. Existem propriedades obrigatórias como:

- *hasAgriculturalProductionSystem*: relaciona o sistema de produção agrícola em avaliação.
- *hasAvailabilityOfEvaluationResults*: relaciona o tipo de disponibilização dos resultados.
- *hasSugarcaneSource*: relaciona a origem da cana com o sistema em definição.
- *harvestYear*: define o ano da safra.
- *canavialLongevity*: define a longevidade do canavial.

Na figura 4 apresenta-se a modelagem de *Production Unit*, feita na ferramenta Protégé Musen (2015).

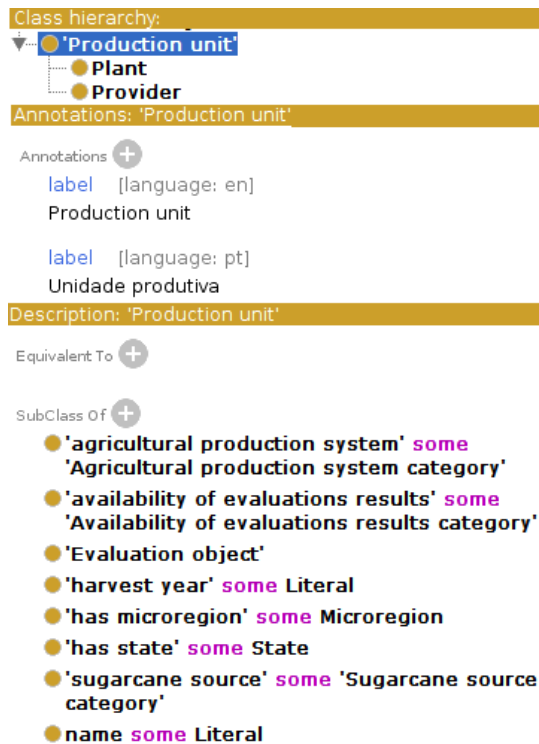


Figura 4: Modelagem unidade produtiva

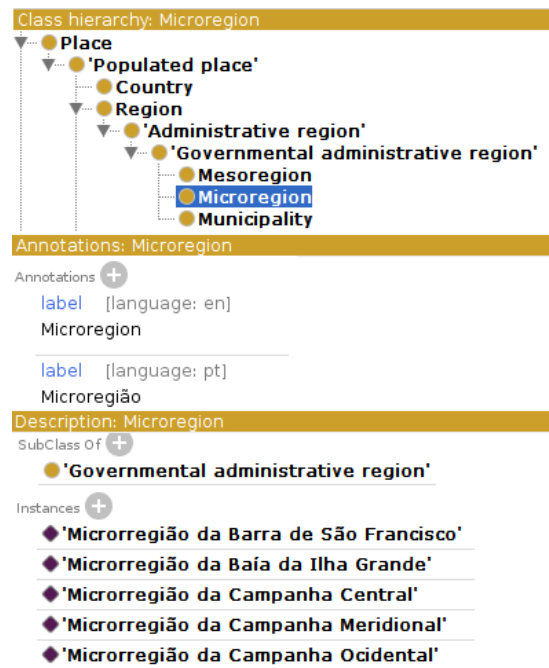


Figura 5: Modelagem de microrregião

A partir das classes foi possível desenvolver o modelo de dados em formato de ontologias da web semântica OWL, as classes descritas foram relacionados por meio de *Object Properties* e *Data Properties* que permitem vincular semanticamente as classes associadas na avaliação de sustentabilidade, os *Data/Object Properties* precisam ter definida a propriedade *rdfs:range* para realizar a validação dos dados vinculados e ditas propriedades podem ser Funcional para garantir uma relação de um a um.

Indicator

Os indicadores são o principal componente da ontologia, foram propostos por um grupo de especialistas de diversas áreas da produção agrícola e sustentabilidade (Oliveira Cardoso, 2013).

Os indicadores representam as características das unidades produtivas que serão identificadas e quantificadas em cada processo de avaliação, eles tem um *Value* que quantifica a sustentabilidade do indicador, esta propriedade junto com outras conformam um formato que permite identificar e gerenciar tais elementos.

A figura 6 apresenta a hierarquia dos indicadores, que está subdividida em Efficiency Indicator e Sustainability Indicator, os Indicators tem a propriedade *has value* que estabelece um valor. Existe outra propriedade *has weight*

Micregion

Representam os locais onde são localizadas as unidades produtivas, permitindo definir a microrregião das unidades produtivas, atualmente a ontologia tem 7 estados pertencentes ao centro-sul do Brasil e 243 microrregiões dentro dos estados registrados. Estes dados foram consultados semanticamente e integrados no sistema a partir de uma consulta na DB-pedia.

A figura 5 representa a modelagem das localizações geográficas usadas no sistema SustenAgro, com algumas instancias de *Microregion*.

que é opcional, e estabelece um peso, estas características representam o formato de um *Indicator*.

A figura apresenta a maneira de exemplo, o indicador intitulado Adequacy of boilers que tem como has value uma lista composta por duas classes e como propriedade has weight uma classe.

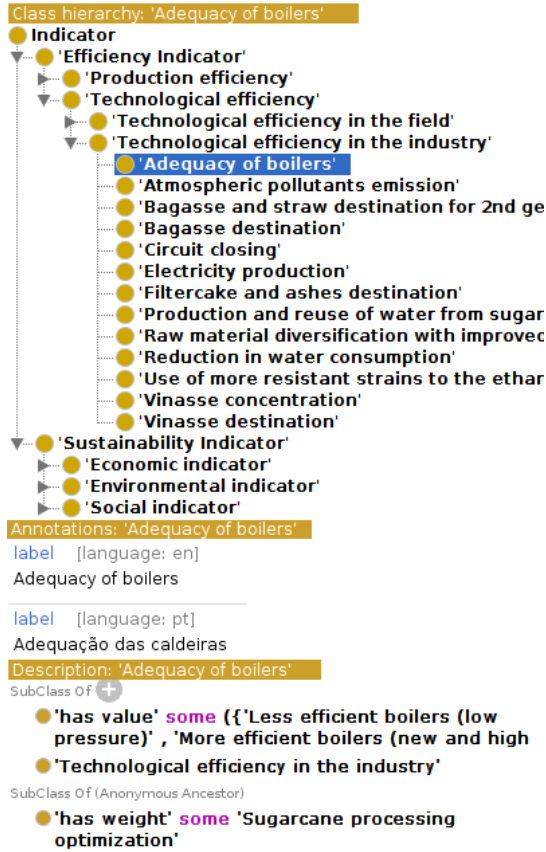


Figura 6: Modelagem de indicador

Os indicadores da sustentabilidade são classificados nas três dimensões da sustentabilidade: dimensão ambiental, dimensão social e dimensão econômica (Oliveira Cardoso, 2013), tendo estes uma participação equitativa no método de avaliação (Kraines and Guo, 2011).

A continuação serão apresentado conceito Categorical que permite representar as categorias de respostas que pode ter um Indicator, estas categorias são relacionadas na propriedade 'has value' dos indicadores.

Categorical

O conceito Categorical representa os possíveis Value que um Indicator pode ter, através das suas subclasses como são as classes Real e a classe Categorical. Esta classe permite classificar cada umas das categorias de valores,

que são elementos discretos modelados como indivíduos da classe, permitindo assim, restringir as opções de instanciação de cada indicador.

Na figura 7 é apresentado a classe Value e as subclasses modeladas, tanto Categorical para conjunto finito de valores e Real para valores numéricos, um exemplo seria classe Yes/No que representa os valores de sim e não, os quais são modelados como indivíduos de dita classe.

Cada individuo da classe Value tem a propriedade as number que relaciona um valor numérico para definir um critério de comparação entre os indivíduos da mesma classe, principalmente usado no método de avaliação.

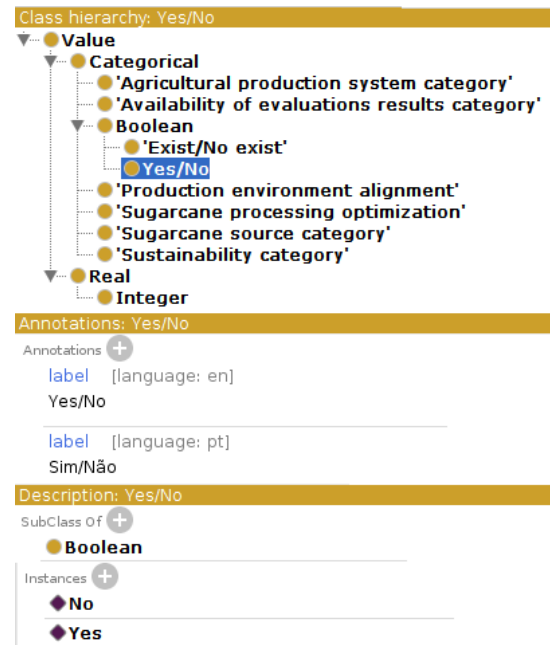


Figura 7: Modelagem de Value

Estas classes são complementadas com propriedades como rdfs:range ou por padrões que representaram os Value dos indicadores de outras maneiras mais específicas, permitindo expandir o modelo a outros tipos de métodos de avaliação.

Cada um dos conceitos apresentados, são essências no processo de avaliação, mas existem definições como o método de avaliação e a apresentação dos resultados, que seriam de difícil modelagem numa ontologia. Por está razão o SAD SustenAgro complementa a ontologia com uma DSL apresentada continuação.

4.2. SustenAgro DSL

Além das ontologias, foi necessário fornecer um meio de definição de conhecimento mais próximo à linguagem

dos especialistas do domínio, para suportar a definição de SADs por parte dos especialistas. Pelo qual foram analisadas varias soluções e encontrou-se que complementando a ontologia com uma DSL, favorece na definição dos conceitos dos especialistas do domínio em uma linguagem mais natural.

Por isso foi identificado a necessidade de definir uma DSL adequada ao nível de conhecimento de computação dos especialistas, e que contenha termos familiares ao domínio deles. Segundo Mernik et al. (2005), as vantagens das DSL, em comparação com as linguagens de propósito geral, são a expressividade, facilidade de uso e a integração com o domínio da aplicação.

O tipo de DSL escolhida para o SAD SustenAgro foi uma Internal DSL (Fowler, 2010) que permite basear-se em uma linguagem existente que forneça as funcionalidades básicas à DSL, a linguagem de programação selecionada foi Groovy pela compatibilidade com tecnologias Java, permitindo rodar diretamente na JVM e usar bibliotecas Java já existentes, e pelo suporte ao desenvolvimento de DSLs que da natureza dinâmica à linguagem. DSLs em Groovy se integram facilmente à própria linguagem Groovy de modo que o código parece um só, além disso permite usar todas as características da linguagem Groovy (Dearle, 2015).

Para permitir que os especialistas definam aspectos do domínio de conhecimento do SAD SustenAgro, foi definida uma DSL com os principais conceitos do SAD SustenAgro. Tal DSL foi baseada na ontologia SustenAgro e permite relacionar conceitos específicos dos especialistas, definir equações para os modelos usados, gerar a interface web para o usuário final.

O uso da DSL, por parte especialistas, diminui o esforço necessário no desenvolvimento de um SAD. Ela permite que os próprios especialistas sejam capazes de fazer parte do desenvolvimento e validação do SAD. Especialmente na parte de refinamento e atualização do SAD, especialistas podem fazer modificações no sistema sem a ajuda de programadores e ver o resultado dessas mudanças imediatamente.

As instruções definidas na DSL são:

Evaluation Object

Nos SAD focados na avaliação, existe um objeto de avaliação que representa as entidades a serem avaliadas. Esse objeto é constituído por propriedades que especificam o

que está sendo avaliado. A instrução *evaluationObject* permite definir as propriedades desse objeto. Por exemplo, caso uma fazenda esteja sendo avaliada, é possível criar propriedades como nome, tipo de produção, localização, etc.

A instrução tem como argumentos a URI (ou label) da classe da ontologia do domínio, que será objeto de avaliação, e cada uma das propriedades relacionadas. A Listagem 1 apresenta um exemplo que usa a classe *ProductionUnit*, como classe dos objetos a serem avaliados e define as propriedades *hasName*, para nome, e *hasAgriculturalProductionSystem*, para tipo de produção. Podem ser usados os labels das propriedades, ao invés de suas URIs.

Listagem 1: Definição do Evaluation Object

```
evaluationObject ":ProductionUnit", {
    instance "ui:hasName", label: ["pt": "
        Nome"]
    instance ":
        hasAgriculturalProductionSystem"
    type label: ["pt": "Tipo"]
}
```

A instrução *instance* vincula uma propriedade definida na ontologia, através da URI. Ela pode ser complementada por parâmetros que customizam a representação visual da propriedade. A instrução *type* faz com que os EvaluationObject tenham que ser de subclasses da classe principal. Por exemplo, uma unidade produtiva pode ser uma plantação greenfield (mecanizada e uniforme), fazenda familiar, etc.

A definição do 'Evaluation Object', permite gerar automaticamente o formulário de dados de entrada do SAD apresentado na figura 8, esta instrução permite que os especialistas gerenciem o que vai ser avaliado no SAD SustenAgro.

Feature

A instrução *Feature* define as características, do 'Evaluation Object', que serão usadas na avaliação da sustentabilidade. O SustenAgro Controller gerará uma interface gráfica, onde o usuário final terá que preencher os dados sobre cada característica. Os textos mostrados vêm da ontologia e fazem parte da descrição de cada elemento. É possível criar descrições em mais de uma língua.

A instrução tem como argumento uma URI (ou label) (Listagem 2) que vincula todas as subclasses da classe re-

Register new production unit / farm:
[Select production unit / farm](#)

Production unit or farm name*

Agricultural production system*

	Options
<input checked="" type="radio"/>	Sugarcane production system

Production unit type*

	Options
<input type="checkbox"/>	Provider
<input type="checkbox"/>	Plant

Sugarcane source*

	Options
<input type="radio"/>	Lease origin
<input type="radio"/>	Own origin
<input type="radio"/>	Supplier origin

Availability of evaluation results*

	Options
<input type="radio"/>	Private
<input type="radio"/>	Public

Figura 8: Web UI com web components

ferenciada. O parâmetro opcional *extraFeatures* permite ativar a inserção de novas *features*, por parte do usuário do SAD.

Listagem 2: Definição de Features

```
feature 'EnvironmentalIndicator', '
  extraFeatures': true
```

Cada característica tem um tipo associado a ela, a partir dele, é possível associar uma widget específica para edição. Por exemplo, a Figura 9 mostra a widget para uma característica que tem um tipo categórico com 3 possíveis valores.

Ambientais
Econômicos
Sociais

Controle biológico de pragas

☒ Não
☐ Sim

Figura 9: Widgets geradas a partir da definição da DSL

Quando o usuário final usa a widget, o valor escolhido é anotado, no Evaluation Object, usando a propriedade *has*

value. Nas fórmulas, usadas para os cálculos do modelo usado, é possível acessar esses valores. Os usuários não precisam preencher a todas as características.

Report

A instrução *Report* permite definir as fórmulas e procedimentos matemáticos necessários para o cálculo do modelo usado pelos especialistas de domínio e a apresentação dos resultados da avaliação.

Fórmulas e procedimentos para modelagem matemática são de responsabilidade dos especialistas de domínio. A DSL permite desde fórmulas simples, de uma linha, até o uso de bibliotecas complexas, chamadas usando a JVM. Como a DSL é uma extensão da linguagem Groovy, qualquer instrução da linguagem pode ser usado nela, incluindo operações lógicas e aritméticas. Para facilitar o trabalho dos especialistas de domínio, recomenda-se encapsular qualquer algoritmo ou chamada de função mais complicados em uma instrução simples.

As fórmulas usadas têm acesso a todos os dados associados às *Features*, pelos usuários finais. Esses dados são

usados no modelo adotado e podem gerar múltiplos resultados de avaliação. Na Listagem 3, a instrução *weightedSum(data.:EnvironmentalIndicator)* calcula a média ponderada de todos os indicadores ambientais fornecidos pelo usuário final. Essa instrução foi criada para simplificar o trabalho dos especialistas.

Listagem 3: Definição da lógica de avaliação.

```
report {
  environment = weightedSum(data.:
    EnvironmentalIndicator')
  economic = weightedSum(data.:
    EconomicIndicator')
  social = weightedSum(data.:
    SocialIndicator')
  sustainability = (environment + social +
    economic)/3
  ...
}
```

Os resultados do processo de avaliação podem ser apresentados por meio de várias *widgets* que facilitam a representação e compreensão dos resultados da avaliação.

Na listagem 4 a instrução *sustainabilityMatrix x: sustainability, y: efficiency* apresenta os valores das variáveis *sustainability* e *efficiency* em um gráfico de matriz de sustentabilidade (Figura 10). Para executar esse comando, o SustenAgro Controller simplesmente coloca a widget *sustainabilityMatrix* na UI e passa os valores das variáveis, como atributos. A widget vai ser responsável por criar o gráfico. Essas widgets gráficas podem ser criadas como Web Components padrão (HTML 5 (Pilgrim, 2010)) ou componentes do framework Grails. O framework vem com um conjunto de widgets predefinidos, mas novas podem ser adicionadas.

Listagem 4: Definição dos componentes visuais do relatório.

```
report {
  ...
  sustainabilityMatrix x: sustainability, y
    : efficiency
  text 'en': 'Microregion map', 'pt': 'Mapa
    da microregião'
  map data.'Microregion'
}
```

Por meio dos comandos da DSL, é possível definir o comportamento e as características gerais do SAD SustenAgro.

Os elementos gráficos (*widgets*), seja os que representam as Features ou os usados nos relatórios, são implementados como Web Components HTML 5 ou Grails. Isso dá muita flexibilidade ao SAD SustenAgro. A qualquer tempo é possível se acrescentar novas *widgets*, para novos tipos de dados (Features) ou gráficos de relatórios.

Para facilitar o entendimento dos resultados do SAD SustenAgro foram desenvolvidos dois web components solicitado pelos especialistas da Embrapa Meio Ambiente. Eles permitem apresentar no relatório os dados resultantes da avaliação da Sustentabilidade.

Matriz de sustentabilidade

Com a finalidade de suportar a geração de relatórios que cumpra com as especificações dos especialistas do domínio, foi necessário implementar um web component específico e compatível com os padrões web. A widget foi intitulada Matriz de Sustentabilidade e está composta por dois eixos que correspondem ao índice de eficiência no eixo Y e o índice de sustentabilidade no eixo X. Os índices tem magnitudes que são divididas em segmentos que permitem dividir a área em doze quadrantes da sustentabilidade. Cada avaliação realizado com o método SustenAgro gerará dois índices que são localizados em um quadrante da matriz de sustentabilidade e assim relacionados com um quadrante que tem recomendações específicas. A figura 10 corresponde à implementação deste web component mostrando resultados reais de uma avaliação.

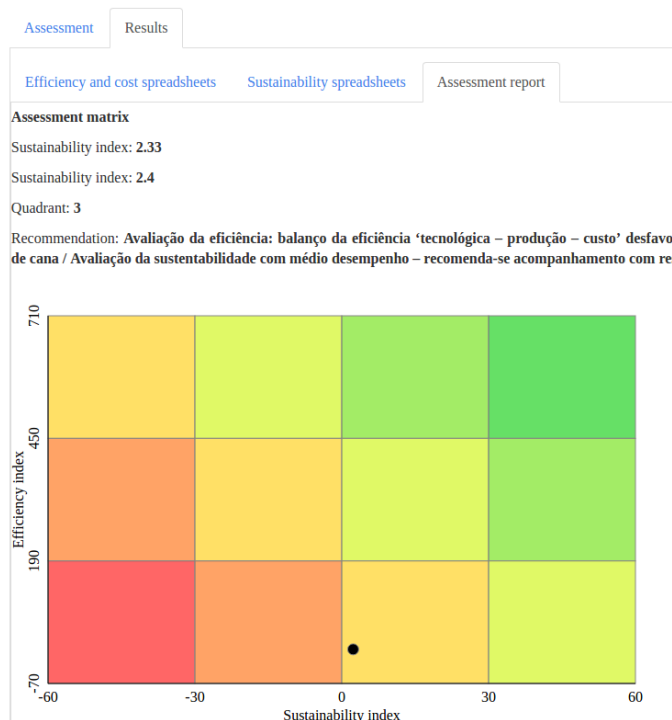


Figura 10: Matriz de sustentabilidade

Semáforo da sustentabilidade

O semáforo da sustentabilidade requereu uma implementação específica segundo as especificações dos especialistas do domínio. Este web component é compatível com os padrões, e contém um eixo que quantifica o valor da sustentabilidade normalizado desde -100 até +100, dividindo o intervalo em 5 segmentos que correspondem a categorias da sustentabilidade. A figura 11 apresenta a widget implementada e integrada no sistema SustenAgro, com uma avaliação de sustentabilidade instanciada.

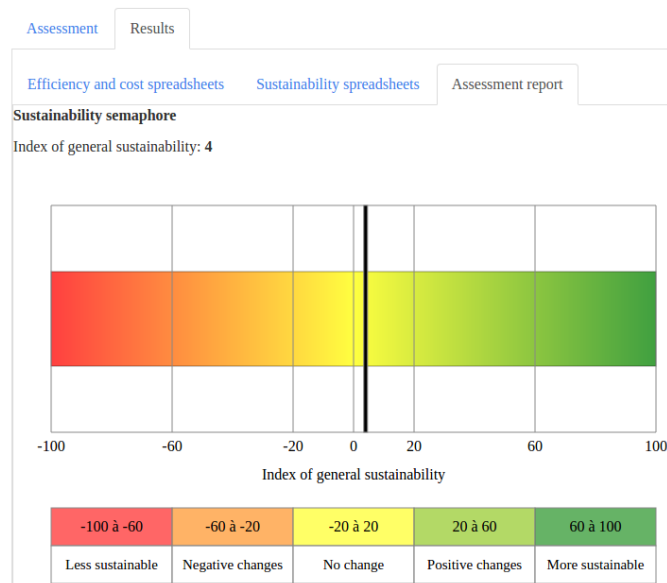


Figura 11: Semáforo de sustentabilidade

Com a finalidade de fornecer uma ferramenta ao especialista que permita definir e atualizar as anteriores instruções, foi implementado um editor da DSL que será apresentado a continuação

DSL Editor

Para suportar a edição da DSL SustenAgro, foi implementado um editor textual web que permite aos especialistas editar e rodar o código da DSL. Ele é composto por um editor de código, um button restore para carregar novamente a última versão válida da DSL e um button save para salvar e carregar a DSL no SustenAgro Controller.

O Editor de código foi baseado no Ace Editor⁴, que fornece Syntax highlighting para varias linguagens de programação, entre elas Groovy, e como a DSL foi baseada em Groovy, foi configurada para reconhecer dita sintaxe, também foi ativado o suporte de code completion para fornecer uma experiência de uso amigável. A principal vantagem é a funcionalidade de salvar a ontologia e reconfigurar o SAD imediatamente, permitindo uma experiência em tempo real de redefinição do SAD, se o usuário errar, ele vai poder restaurar as configurações por default.

A Figura 12 mostra o editor em ação.

Protótipo SAD SustenAgro

O protótipo funcional do SAD SustenAgro está publicado nos servidores do laboratório Intermídia do

⁴<https://ace.c9.io/>

```

103 feature ':EnvironmentalIndicator', 'extraFeatures': true
104
105 feature ':EconomicIndicator', 'extraFeatures': true
106
107 feature ':SocialIndicator', 'extraFeatures': true
108
109 feature ':ProductionEfficiencyFeature'
110
111 feature ':TechnologicalEfficiencyFeature', {
112   conditional ":ProductionUnit", 'http://dbpedia.org/ontology/Provider', {
113     include ':TechnologicalEfficiencyInTheField'
114   }
115   conditional ":ProductionUnit", 'http://dbpedia.org/resource/PhysicalPlant', {
116     include ':TechnologicalEfficiencyInTheIndustrial'
117   }
118 }
119
120 data 'data'
121
122 report {
123   environment = weightedSum(data.':EnvironmentalIndicator') //equation({value*weight})
124   economic = weightedSum(data.':EconomicIndicator')
125   social = weightedSum(data.':SocialIndicator')
126
127   sustainability = (environment + social + economic)/3
128
129   cost_production_efficiency = sum(data.':ProductionEfficiencyFeature')
130
131   technologicalEfficiencyInTheField = 0.8*weightedSum(data.':TechnologicalEfficiencyInTheField') //equation({value*
132   technologicalEfficiencyInTheIndustrial = 0.2*weightedSum(data.':TechnologicalEfficiencyInTheIndustrial'})
133
134   efficiency = cost_production_efficiency *
135   (technologicalEfficiencyInTheField+technologicalEfficiencyInTheIndustrial)
136
137   evaluationObjectInfo()
138
139   sustainabilityMatrix x: sustainability,
140                       y: efficiency,
141                       label_x: ['en': 'Sustainability index', 'pt': 'Índice da sustentabilidade'],
142                       label_y: ['en': 'Efficiency index', 'pt': 'Índice de eficiência'],
143                       range_x: [-60,60],
144                       range_y: [-70,710],
145                       quadrants: [4,3],

```

Figura 12: Editor DSL

ICMC-USP ⁵.

O protótipo tem a funcionalidade de criar nova avaliação de sustentabilidade, ação que vai gerar a tela da figura 13 que permite visualizar o formulário dos indicadores para que os usuários preencham cada um segundo a realidade da unidade produtiva em avaliação. Cada indicador tem varias opções de resposta que estão ligadas a valores que quantificam a sustentabilidade, esses valores estão definidos na ontologia da sustentabilidade e são valores usados nas fórmulas para gerar os índices da sustentabilidade.

Na Figura 13, é apresentado o formulário dos indicadores de eficiência, que tem uma subdivisão em eficiência de produção e tecnológica, permitindo agrupar os indicadores correspondentes a cada dimensão. Nessa figura é preenchido o indicador Manejo a maneira de exemplo, onde é cadastrada cada uma das opções de resposta e o peso do indicador, para depois suportar o processo de avaliação da sustentabilidade.

A partir desses dados cadastrados, o SAD SustenAgro processa os dados segundo o método SustenAgro definido na DSL e gerados os resultados do sistema. que consistem na planilha de eficiência e custo, na planilha

da sustentabilidade e o relatório do sistema. As planilhas permitem a visualizar os atributos dos indicadores e a tela de relatório apresenta a matriz de avaliação onde são relacionados os índices de eficiência e de sustentabilidade, o relatório é apresentado na figura 14.

5. Avaliação

6. Resultados

Os principais resultados da presente pesquisa são:

Ontologia SustenAgro sobre avaliação de sustentabilidade em cana-de-açúcar no centro-sul do Brasil

Representa os principais conceitos desse domínio, necessários para o suportar a avaliação: entre eles estão os indicadores, unidades produtivas, microrregiões, índices e método de avaliação. Padronizando o conhecimento dos especialistas em um formato computável e possibilitando o escalonamento no futuro. Ela foi desenvolvida em parceria com os especialistas de domínio de sustentabilidade da Embrapa.

⁵<http://biomac.icmc.usp.br:8080/sustenagro/>

Farm
Análises

Avaliação da eficiência e custo
Avaliação da sustentabilidade

Eficiência da produção
Eficiência tecnológica

Eficiência tecnológica no campo

Manejo
Justificativa
Apagar

☒ Preparo / plantio / manutenção do canavial (automatizados ou empregando sistemas de informação? Por ex sensoriamento remoto ou agricultura de precisão)

☐ Preparo / plantio / manutenção do canavial manual em função de restrições do tamanho da área e declividade

☐ Preparo / plantio / manutenção do canavial manual em áreas aptas a mecanização

☐ Preparo / plantio / manutenção do canavial usando mecanização

Peso
Direta

Mecanização da cana
Justificativa
Apagar

☐ Adequada – com redução de perdas visíveis e invisíveis

☐ Com eficiência para o ambiente de produção – emprego de técnicas para reduzir a compactação do solo

☐ Inadequada – aumento de custos de produção

Peso

Figura 13: Cadastro de indicadores

DSL

Definir os principais elementos do SAD SustenAgro, usando os conceitos das ontologias e integrando web components para gerar as web UI. Dentro dos elementos suportados estão a definição dos objetos de avaliação, os indicadores, as fórmulas do método de avaliação e a definição do formato do relatório de cada análise.

O SAD SustenAgro

Sistema para avaliação da sustentabilidade em cana-de-açúcar, na região centro-sul do Brasil, que foi implementado usando o SAD SustenAgro. O SAD SustenAgro permite a reconfiguração em tempo de execução dos conceitos do domínio, método de avaliação e design das interfaces gráficas.

As ontologias da web semântica suportaram as funcionalidades do SAD SustenAgro, cuja pagina inicial é apresentada na Figura 15.

Nessa tela pode-se observar o texto explicativo da ferramenta e as abas de “Início”, “Ferramenta” e “Contato”. A

opção “Ferramenta” permite iniciar o processo de avaliação de sustentabilidade.

Avaliação do design

Ontologias e das funcionalidade do SAD SustenAgro, realizado por especialistas.

7. Discussão

Para desenvolver os SAD SustenAgro foram usadas tecnologias da web semântica, que têm como finalidade estruturar os dados e informações disponíveis na Web, para que tenham significado e sejam computáveis por máquinas. Primeiramente foram desenhadas as ontologias em mapas conceituais, depois modeladas em formato OWL na ferramenta Protégé, instanciadas em tripletores e finalmente integradas no SAD SustenAgro que está implementado sobre o banco de dados baseado em grafos Blazegraph.

Este processo permitiu identificar e propor uma solução ao problema abordado sobre a da inexistência de um meio de representação de conhecimento para definir SADs de avaliação por parte dos especialistas do domínio. O

Assessment
Results

Efficiency and cost spreadsheets
Sustainability spreadsheets
Assessment report

Sustainability assessment

Environmental Dimension

Indicator	Relevance	Registered value	Value	Total value
Absolute emissions of greenhouse gases (GEE) or associated gases	3.0	Meets determined values	1.0	3.0

Justification

Indicator	Justification
Absolute emissions of greenhouse gases (GEE) or associated gases	

Index	Total value
Environmental index	3.0

Economic Dimension

Indicator	Relevance	Registered value	Value	Total value
Have fuel stocks in order to regulate supply / demand and prices of ethanol (buffer stocks)	2.0	Yes	1.0	2.0

Justification

Indicator	Justification
Have fuel stocks in order to regulate supply / demand and prices of ethanol (buffer stocks)	

Figura 14: Planilhas de resultado da avaliação

método proposto soluciono este problema por meio de ontologias e DSL que permitiram avaliar o uso dela por parte dos especialistas, os quais conseguiram definir o SAD SustenAgro. Porém o método ainda precisa de mais validações em outros domínios e experimentar outros tipos de tecnologias baseadas em conhecimento para definir um método geral de definição de SAD pelos especialistas do domínio.

O desenvolvimento do SAD SustenAgro, em cooperação com a Embrapa Meio Ambiente, poderia gerar impacto positivo na produção agrícola, já que ele fornece a funcionalidade de avaliar a sustentabilidade na cana-de-açúcar.

Particularmente, o setor produtivo produtivo da cana-de-açúcar é extremamente importante para a economia do estado de São Paulo e do Brasil, devido ao fato de ser uma das principais culturas produzidas no país (Sérgio Alves Torquato, 2015)

Este SAD SustenAgro foi avaliado como uma contribui-

ção inédita, porque permite fornece funcionalidades que não estão em outras ferramentas. Também o SAD SustenAgro pode ser aplicado a outros sistemas agrícolas, o que poderia suportar melhoras na produção de alimentos e produtos neste setor (Matthews et al., 2008). Se o SAD é usado da maneira correta poderia gerar um possível impacto positivo no Sistema produtivo de cana-de-açúcar do centro-sul do Brasil (Lee et al., 2008).

8. Conclusões

O desenvolvimento do SAD SustenAgro, permitiu avaliar de maneira positiva o suporte das ontologias fornecem na representação de conhecimento do domínio e testar novas possibilidades na definição e geração de SAD baseados em conhecimento.

Desta forma forneceu uma solução ao problema da inexistência de uma representação de conhecimento para defi-



Figura 15: Protótipo do SustenAgro – Home Page.

nir o SAD SustenAgro, que tenha um formato computável, entendível e acessível aos especialistas do domínio e desenvolvedores de software.

A principal contribuição da ontologia do domínio é ser uma representação semântica do conhecimento de domínio tanto para os usuários como para o sistema computacional, tornando-se um meio de comunicação entre os especialistas de domínio e os programadores.

O desenvolvimento do sistema Sustenagro satisfaz uma necessidade presente na unidade da Embrapa Meio Ambiente: um sistema de avaliação de sustentabilidade em cana-de-açúcar no centro-sul do Brasil. O SAD SustenAgro representa e permite complementar informações e dados do estado atual de sustentabilidade nas unidades produtivas, com a finalidade de obter informações que permitam embasar e formalizar políticas públicas para promover práticas produtivas mais sustentáveis de acordo com crité-

rios ambientais, sociais e econômicos.

Além de satisfazer uma necessidade institucional, o SustenAgro se consolida como uma proposta de SAD baseado em conhecimento e vinculado às tecnologias da web semântica, um processo que requereu um trabalho de pesquisa e de inovação tecnológica, principalmente na definição de uma ontologia do domínio de sustentabilidade que representa o conhecimento em formato entendível pelos humanos e máquinas.

Agradecimentos

Um especial agradecimento ao professor Dr. Dilvan A. Moreira pela orientação durante o desenvolvimento da presente pesquisa, à pesquisadora Dra. Katia Regina Evaristo quem desde a Embrapa Meio Ambiente ajudou-me em todos os aspectos, à Universidade de São Paulo por

acolher-me como um integrante mais e à CAPES pelo financiamento.

Referências

- D. Allemang and J. Hendler. *Semantic Web for the Working Ontologist: Effective Modeling in RDFS and OWL*. Elsevier Science, 2011. ISBN 9780123859662.
- Tim Berners-Lee, James Hendler, and Ora Lassila. The semantic web. *Scientific American*, 284(5):34–43, May 2001.
- Rodrigo Bonacin, Olga Fernanda Nabuco, and Ivo Pierozzi Junior. Conceptualizing the impacts of agriculture on water resources: Experiences and ontology engineering challenges. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Management of Emergent Digital EcoSystems*, MEDES '13, pages 262–269, New York, NY, USA, 2013. ACM. ISBN 978-1-4503-2004-7. doi: 10.1145/2536146.2536185. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2536146.2536185>.
- Fergal Dearle. *Groovy for Domain-Specific Languages*. Packt Publishing Ltd, 2015.
- Evans. *Domain-Driven Design: Tackling Complexity In the Heart of Software*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 2003. ISBN 0321125215.
- Martin Fowler. *Domain-specific languages*. Pearson Education, 2010.
- Steven Kraines and Weisen Guo. A system for ontology-based sharing of expert knowledge in sustainability science. *Data Science Journal*, 9:107–123, 2011.
- Zoonky Lee, Christian Wagner, and Ho Kyoung Shin. The effect of decision support system expertise on system use behavior and performance. *Information & Management*, 45(6):349 – 358, 2008. ISSN 0378-7206. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.im.2008.04.003>.
- K.B. Matthews, G. Schwarz, K. Buchan, M. Rivington, and D. Miller. Wither agricultural dss? *Computers and Electronics in Agriculture*, 61(2):149 – 159, 2008. ISSN 0168-1699. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2007.11.001>.
- Marjan Mernik, Jan Heering, and Anthony M. Sloane. When and how to develop domain-specific languages. *ACM Comput. Surv.*, 37(4):316–344, December 2005. ISSN 0360-0300. doi: 10.1145/1118890.1118892.
- Mark A Musen. The protégé project: A look back and a look forward. *AI matters*, 1(4):4–12, 2015.
- Bruno Oliveira Cardoso. *Avaliação da sustentabilidade de sistemas de produção da cana-de-açúcar no estado de São Paulo: uma proposta metodológica e de modelo conceitual*. 2013.
- Johanna Alkan Olsson, Christian Bockstaller, Lee M. Stapleton, Frank Ewert, Rob Knapen, Olivier Therond, Ghislain Geniaux, Stéphane Bellon, Teresa Pinto Correia, Nadine Turpin, and Irina Bezlepkina. A goal oriented indicator framework to support integrated assessment of new policies for agri-environmental systems. *Environmental Science & Policy*, 12(5):562 – 572, 2009. ISSN 1462-9011. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2009.01.012>. Integrated Assessment of Agricultural and Environmental Policies – concepts and tools.
- Mark Pilgrim. *HTML5: Up and Running: Dive into the Future of Web Development*. "O'Reilly Media, Inc.", 2010.
- Catherine Roussey, V Soullignac, JC Champomier, V Abt, JP Cha-
- net, et al. Ontologies in agriculture. In *AgEng 2010, International Conference on Agricultural Engineering*, 2010.
- Jack Rusher. Triple store. In *Workshop on Semantic Web Storage and Retrieval-Position Paper*, 2003.
- Ken Schwaber and Mike Beedle. *Agile software development with scrum*. 2002.
- Herbert A Simon. *The architecture of complexity*. Springer, 1991.
- Rajesh Kumar Singh, H.R. Murty, S.K. Gupta, and A.K. Dikshit. An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators*, 15(1):281 – 299, 2012. ISSN 1470-160X. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.01.007>.
- Kátia Regina E. de Jesus & Catiana Regina Brumatti Zorzo Sérgio Alves Torquato. Inovações no sistema de produção de cana-de-açúcar: uma contribuição do protocolo agroambiental para a região de piracicaba, estado de são paulo. *Informações Econômicas*, 45(2):10, 2015.
- Jeffrey W. Tweedale, Gloria Phillips-Wren, and Lakhmi C. Jain. *Advances in Intelligent Decision-Making Technology Support*, pages 1–15. Springer International Publishing, Cham, 2016. ISBN 978-3-319-21209-8.