



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE
MESTRADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**



DISRAELLY HANDER GURGEL PEREIRA

**ESTRUTURAÇÃO E EXTRAÇÃO DE CONHECIMENTO
ATRAVÉS DE TECNOLOGIAS SEMÂNTICAS: UM ESTUDO
DE CASO NO DOMÍNIO DA AGRICULTURA DO SEMIÁRIDO.**

MOSSORÓ – RN

2012

DISRAELLY HANDER GURGEL PEREIRA

**ESTRUTURAÇÃO E EXTRAÇÃO DE CONHECIMENTO
ATRAVÉS DE TECNOLOGIAS SEMÂNTICAS: UM ESTUDO
DE CASO NO DOMÍNIO DA AGRICULTURA DO SEMIÁRIDO.**

Dissertação apresentada ao Mestrado de Ciência da Computação – associação ampla entre a Universidade do Estado do Rio Grande do Norte e a Universidade Federal Rural do Semi-árido, para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dra. Cláudia Maria Fernandes Araújo Ribeiro – UERN.

MOSSORÓ – RN

2012

**Catálogo da Publicação na Fonte.
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.**

Pereira, Disraelly Hander Gurgel.

Estruturação e extração de conhecimento através de tecnologias semânticas: um estudo de caso no domínio da agricultura do semiárido. / Disraelly Hander Gurgel Pereira. – Mossoró, RN, 2012.

70 f.

Orientador(a): Prof. Dra. Cláudia Maria Fernandes Araújo Ribeiro

Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação). Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

Bibliotecária: Elaine Paiva de Assunção CRB 15 / 492

DISRAELLY HANDER GURGEL PEREIRA

**ESTRUTURAÇÃO E EXTRAÇÃO DE CONHECIMENTO
ATRAVÉS DE TECNOLOGIAS SEMÂNTICAS: UM ESTUDO
DE CASO NO DOMÍNIO DA AGRICULTURA DO SEMIÁRIDO.**

Dissertação apresentada ao Mestrado em
Ciência da Computação para a obtenção do
título de Mestre em Ciência da Computação.

APROVADA EM: ____ / ____ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelino Pereira dos Santos Silva – UERN
Presidente

Prof. Dr. Francisco Milton Mendes Neto – UFERSA
Membro Interno

Prof. Dra. Vânia Christina Nascimento Porto – UFERSA
Membro Externo

Dedico este trabalho aos meus pais, Elumar e Socorro, minhas irmãs, Daysi e Diana, minha sobrinha, Julia e à minha namorada, Sinaly.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, por ter me dado o dom da vida, saúde, capacidade e sabedoria para superar mais uma etapa em minha vida.

Meus pais, Elumar Pereira da Silva e Maria do Socorro Gurgel Pereira, sem eles eu não estaria aqui hoje, minhas irmãs, Diana Suzelly Gurgel Pereira do Couto e Daysi Suzelly Gurgel Pereira Monte, meus cunhados, Adriano Monte e Pablo Couto, minha sobrinha, Julia Couto e à minha namorada, Sinaly Vasconcelos Vieira, por sempre acreditarem no meu empenho, darem confiança, paciência e apoio nos momentos difíceis durante esta jornada.

A minha professora Dra. Cláudia Maria Fernandes Araújo Ribeiro, por acreditar em mim e por todo seu apoio dado à orientação desse trabalho. Também quero agradecer a professora Dra. Vânia Christina Nascimento Porto por sua dedicação a esse trabalho.

Aos professores da banca, Dr. Marcelino Pereira dos Santos Silva e Dr. Francisco Milton Mendes Neto, pela disponibilidade em avaliar e contribuir com este trabalho.

Aos meus colegas e professores do mestrado, com os quais pude aprender muito, e a Rosita por me ajudar com os assuntos relacionados ao mestrado. Aos meus colegas do laboratório LUMEN-UERN e aos amigos Felipe Costa, Carlos Fran, Tatiana Sorrentino pela ajuda que me deram para esse trabalho.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro concebido no qual viabilizou a realização deste trabalho.

Agradeço a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível” (Charles Chaplin).

RESUMO

Interoperabilidade e integração de dados são aspectos-chave de projetos de agricultura sustentável, uma vez que incluem informações a partir de perspectivas diferentes, tais como dimensões ambientais, sociais e econômicas. Como participantes críticos no conceito moderno de desenvolvimento, esses projetos requerem análise integrada de grande quantidade de dados, a fim de garantir os princípios da sustentabilidade, que apontam para projetos "ecologicamente corretos, economicamente viáveis e socialmente justos". Compreender as relações semânticas entre essas dimensões podem, potencialmente, ajudar a definir novos projetos sustentáveis em um determinado contexto. Este trabalho apresenta resultados práticos obtidos a partir de uma aplicação semântica desenvolvida como uma ferramenta de recomendação sobre técnicas agrícolas sustentáveis bem adaptadas ao contexto do semiárido brasileiro. Esta região é particularmente susceptível aos efeitos do aquecimento global e exige novas estratégias de desenvolvimento.

Palavras-Chave: Anotação Semântica, Agricultura Sustentável, Modelagem e Avaliação Integrada.

ABSTRACT

Interoperability and data integration are key aspects of sustainable agriculture projects, since they include information from different perspectives, such as environmental, social and economic dimensions. As critical players in the modern concept of development, these projects require integrated analysis of huge amount of data in order to guarantee the principles of sustainability, which point out towards projects “ecologically sound, economically feasible, and socially fair”. Understanding the semantic relations between these dimensions can potentially help to defining new sustainable projects in a given context. This paper presents practical results obtained from a semantic application developed as a recommender tool on sustainable agricultural techniques well-adapted to the context of Brazilian semiarid. This region is particularly susceptible on effects of global warming and requires new strategies for development.

Keywords: Semantic Annotation, Sustainable Agriculture, Integrated Modeling and Assessment.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Termos importantes na ontologia.....	39
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema representativo para alcançar a sustentabilidade.....	20
Figura 2 – Interface gráfica do Protégé.....	37
Figura 3 – Hierarquia das classes.....	41
Figura 4 – Propriedades de relacionamento.....	42
Figura 5 – Propriedades de relacionamento entre culturas.....	43
Figura 6 – Propriedades referentes às características.....	44
Figura 7 – Plataforma ARIDUS.....	49
Figura 8 – Diagrama da aplicação.....	53
Figura 9 – Aplicação rodando em celular.....	54
Figura 10 – Aplicação rodando em tablet.....	54
Figura 11 – Opção para alterar o idioma da aplicação.....	55
Figura 12 – Aplicação com o idioma alterado para inglês.....	55
Figura 13 – Tela inicial da aplicação.....	56
Figura 14 – Informações da cultura.....	57
Figura 15 – Criar consórcio com recomendações.....	58
Figura 16 – Criar consórcio sem recomendações.....	58
Figura 17 – Resultados da combinação entre Feijão x Pepino.....	61
Figura 18 – Informações entre Rúcula x Milho.....	62
Figura 19 – Informações entre Feijão x Alho.....	62

LISTA DE SIGLAS

API – *Application Programming Interface*;

CABI – Centre for Agricultural Bioscience International;

CMMAD – Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento;

DSM – *Digital Soil Mapping*;

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;

EUA – Estados Unidos da América;

FAO – *Food and Agriculture Organization*;

HTML – *HyperText Markup Language*;

HTTP – *Hypertext Transfer Protocol*;

IDE – Integrated Development Enviroment;

IICA – Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura;

ISO – *International Organization for Standardization*;

JVM – *Java Virtual Machine*;

MVC – *Model-view-controller*;

ONU – Organizações das Nações Unidas;

OWL – *Web Ontology Language*;

RDF – *Resource Description Framework*;

SPARQL – *Simple Protocol And RDF Query Language*;

SQL – *Structured Query Language*;

SWRL – *Semantic Web Rule Language*;

UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido;

UNP – Universidade Potiguar;

UTF – *Unicode Transformation Format*;

W3C – *World Wide Web Consortium*;

XML – *eXtended Markup Language*.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	13
1.2	PROBLEMÁTICA.....	14
1.3	OBJETIVOS.....	17
1.4	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	17
2	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	18
2.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	18
2.2	DESAFIOS PARA UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL.....	22
2.3	AGRICULTURA ORGÂNICA.....	24
2.3.1	Consórcio de Culturas.....	25
2.3.2	Rotação de Culturas.....	27
2.4	CONTRIBUIÇÕES DA COMPUTAÇÃO NA SUSTENTABILIDADE...	28
3	TRABALHOS RELACIONADOS.....	34
4	MODELO SEMÂNTICO PARA O DOMÍNIO DO CONSÓRCIO DE CULTURAS.....	36
4.1	VISÃO GERAL DO MODELO.....	36
4.2	DETALHAMENTO DA METODOLOGIA ESCOLHIDA.....	36
4.3	REGRAS SEMÂNTICAS PARA RECOMENDAÇÃO DE CONSÓRCIO DE CULTURAS.....	46
5	PLATAFORMA WEB SEMÂNTICA E RESULTADOS.....	48
5.1	FERRAMENTAS UTILIZADAS.....	50
5.1.1	Eclipse.....	50
5.1.2	Play Framework.....	51
5.1.3	SPARQL.....	52
5.2	INTERCROPAPP.....	53
5.3	RESULTADOS.....	55
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS.....	63
	REFERÊNCIAS.....	65

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O desenvolvimento sustentável ganhou impulso desde que as mudanças climáticas começaram a provocar a perda financeira e danos a muitas vidas. A base deste conceito moderno de desenvolvimento é a garantia do máximo de benefícios com o mínimo de impactos negativos sobre o meio ambiente. Isso significa que a viabilidade econômica de um projeto deve ser confrontada com os compromissos sociais e ambientais.

A elevada complexidade de avaliação da sustentabilidade tornaram explícitos muitos desafios, atraindo a atenção de comunidades de pesquisa diferentes. Considerado um sistema complexo, a modelagem e avaliação integrada de domínios da sustentabilidade (ALKAN OLSSON *et al.*, 2008) exige o conhecimento de um amplo espectro de disciplinas e necessita do conhecimento de especialistas, incluindo agrônomos, sociólogos e economistas.

A análise integrada de grandes volumes de dados e conflitos semânticos surgiu a partir dessas perspectivas diferentes sobre os mesmos dados, abrindo um campo de pesquisa interessante para os cientistas da computação. Além disso, o grau de sustentabilidade dos projetos pode variar, em grande parte, da utilização de métodos e técnicas adaptadas, através do aumento da complexidade de tais modelos (ALKAN OLSSON *et al.*, 2008).

Em nível mais abstrato, um dos principais problemas que emergiram claramente foram os diferentes projetos sustentáveis, em que esses projetos avaliam em que medida os impactos positivos e negativos dos projetos podem ser comparados, dificultando a tarefa para os tomadores de decisões. Para os líderes de projeto, a identificação de projetos semelhantes também pode ser de grande valor (ALKAN OLSSON *et al.*, 2008).

Para fins de ilustração, vamos considerar dois projetos sustentáveis, denominados “A” e “B”, onde “A” utiliza pesticidas de baixo impacto numa agricultura familiar e “B” usa fertilizantes naturais num sistema mecânico intensivo. Qual projeto

pode ser considerado mais sustentável? A dificuldade para responder esta pergunta pode ser estendida se as escalas de tempo e espaço também forem consideradas.

Todos os desafios mencionados e envolvidos neste campo têm estimulado esforços de pesquisas em muitas direções. Neste projeto, a estratégia utilizada é baseada na modelagem de determinado projeto agrícola sustentável, a fim de capturar o conhecimento intrínseco e tomadas de decisões. O modelo semântico produzido foi então generalizado, a fim de servir de base para uma ferramenta de recomendação que sugere técnicas mais adequadas na nova definição de projetos semelhantes.

Além desses resultados práticos, as lições aprendidas no projeto também colaboram para a definição de um modelo mais geral e extensível de sustentabilidade, com ênfase no domínio agrícola. A primeira versão é explicitamente conhecida como técnicas sustentáveis de consorciação de culturas, útil para o contexto considerado: o semiárido brasileiro. A região apresenta baixo nível de umidade e precipitação, mas tem sido usada para projetos sustentáveis, tais como as técnicas de agricultura familiar, que podem mitigar os problemas sociais relacionados com a migração interna.

1.2 PROBLEMÁTICA

O crescente volume de dados disponíveis na *Web* tem feito surgir grande interesse dos pesquisadores em estabelecer novo formato para obtenção, seleção e análise de dados. Neste cenário, os dados colhidos em experimentos individualizados podem ser somados aos dados de outros experimentos em áreas correspondentes, possibilitando realizar uma análise integrada de informações.

No contexto da agricultura, o cenário é o mesmo. A perspectiva do desenvolvimento sustentável tem feito com que pesquisadores analisem de forma integrada informações sobre diferentes culturas, suas relações com o clima e o solo, potenciais impactos ambientais, sociais, econômicos, dentre outros aspectos (PIERRO, 2010).

A integração desses dados não é um desafio trivial, mesmo que seja no âmbito de uma única instituição, pois as comunidades de pesquisadores costumam

ter seus próprios vocabulários e formas específicas de estruturar e analisar seus dados. Além disso, o crescente nível de informatização das instituições tem potencializado o surgimento de diferentes bases de dados, com registros que podem atingir facilmente milhões de dados armazenados (PINHEIRO, 2009).

Tudo isto tem motivado a busca de soluções eficientes para a estruturação e recuperação de informações. Esta tem sido uma das preocupações da EMBRAPA Informática Agropecuária¹, em que as iniciativas buscam estabelecer um formato único para a descrição de dados através de metadados, de forma a criar uma base de dados que possa ser facilmente compartilhada. Para este propósito, tem sido empregado o padrão Dublin Core², conjunto de 15 elementos metadados, dentre eles título, criador e idioma, que possibilita a descrição padronizada de qualquer tipo de recurso de informação em suporte eletrônico. Dessa forma, a interoperabilidade dos dados entre as aplicações distintas é obtida no nível sintático, garantida pelo formato único e a descrição baseada em XML (*Extensible Markup Language*) (XML, 2010).

Apesar do grande mérito de iniciativas desta natureza, garantir um formato único de descrição de dados não é suficiente. É necessário expandir a interoperabilidade ao nível semântico, de forma que um mesmo dado possa coexistir em diferentes domínios do conhecimento, evitando redundância e possíveis falhas de integridade e facilitando a análise integrada das informações. Para tanto, diferentes “visões” ou “perspectivas” são associadas aos dados, preservando a identidade e o vocabulário próprio das comunidades de pesquisadores envolvidos.

Dessa forma, um mesmo dado relacionado à produtividade no cultivo do milho, por exemplo, podem ser adicionadas informações referentes aos aspectos da própria cultura, às condições climáticas, de perspectivas sociais de ocupação do solo e de renda individual e familiar. Isto possibilita, dentre outros benefícios, avaliar a sustentabilidade em suas três dimensões: ambiental, econômica e social (LOPES, 2007; SULLIVAN, 2003).

É neste contexto que se insere este projeto de pesquisa, cujo objetivo principal é a proposição de um modelo para anotação semântica de dados, instanciados no domínio da agricultura, de forma a estruturar uma base de conhecimento sobre cultivos na região do semiárido nordestino.

¹ <http://www.cnptia.embrapa.br/>

² <http://dublincore.org/>

Embora no domínio agrícola existam vocabulários bem estabelecidos e controlados, tais como os tesouros AGROVOC da FAO (*Food and Agriculture Organization*), CABI (*Centre for Agricultural Bioscience International*) e *National Agricultural Library*³, além da generalidade de tais recursos para que a interoperabilidade seja efetiva na *Web* é necessário estender a abordagem tradicional de tesouros para técnicas melhor adaptadas à *Web* (BERNERS-LEE, HENDLER e LASSILA, 2001), como as ontologias (GOMEZ-PEREZ, CORCHO e FERNANDEZ-LOPEZ, 2004).

No contexto desta pesquisa e visando ampliar a aplicabilidade dos resultados, pretende-se utilizar como estudo de caso os resultados reais de uma pesquisa desenvolvida em nível de doutorado, intitulada BICULTIVO DE ALFACE E RÚCULA CONSORCIADAS COM CENOURA EM FAIXAS (PORTO, 2008), realizada no âmbito do Programa de pós-graduação em Fitotecnia, da UFERSA, instituição parceira da UERN, no programa de pós-graduação em Ciência da Computação.

A referida pesquisa tem significativo alcance social e econômico para a região, além de trazer desafios na manipulação integrada de informações sobre diferentes culturas, clima, solo e aspectos econômicos, o que justifica sua utilização como estudo de caso para validação do modelo proposto.

Embora aplicado inicialmente a este domínio específico, pretende-se garantir a propriedade de extensibilidade ao modelo proposto, de forma a permitir sua aplicação em diferentes domínios, reforçando a própria capacidade de análise integrada.

Para a Ciência da Computação, a pesquisa em tela apresenta desafios científicos significativos relacionados principalmente à interoperabilidade semântica, desde a análise dos domínios para concepção de ontologias e definição de regras de inferência (SWRL, 2004), integração semântica de bases de dados heterogêneas, desenvolvimento de aplicação semântica com uso de motor de inferência e serviços *Web* semânticos (*Semantic Web Services*) (ALESSO e SMITH, 2004; STOLLBERG *et al.*, 2006), até a validação de técnicas de reconciliação ontológica entre conceitos de ontologias de diferentes domínios (GOMEZ-PEREZ, CORCHO e FERNANDEZ-LOPEZ, 2004).

³ <http://aims.fao.org/website/Publications>

1.3 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo principal conceber e validar um modelo de anotação semântica para a estruturação de uma base de conhecimento e para a extração e análise automatizada de informações inter-relacionadas, aplicado ao domínio da agricultura no semiárido brasileiro. Dessa forma, será possível extrair conhecimento através das informações das características entre duas culturas, observando-se qual impacto poderá apresentar com relação às dimensões da sustentabilidade, quais os meses compatíveis, as produtividades esperadas, os próximos cultivos a serem realizados para essas culturas e suas possíveis combinações caso sejam forem plantadas em consórcio.

1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A metodologia utilizada para capturar e modelar conhecimento sobre práticas sustentáveis e sua utilização na definição de novos projetos são discutidos nesta dissertação, estruturada da seguinte forma: no capítulo 2 são apresentados conceitos sobre desenvolvimento sustentável, desafios para uma agricultura sustentável, práticas de cultivos sustentáveis (consórcio de culturas e rotação de culturas) e contribuições da computação com relação à sustentabilidade; no capítulo 3 são discutidos os trabalhos relacionados; no capítulo 4 são apresentados conceitos essenciais para estruturar o domínio, a ontologia resultado e as regras semânticas concebidas para servir como base para as culturas recomendadas; o capítulo 5 apresenta a plataforma que foi desenvolvida para poder visualizar os resultados e também são analisados alguns resultados obtidos e; no capítulo 6, algumas conclusões e perspectivas de trabalhos futuros são apresentadas.

2. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O termo desenvolvimento sustentável nasceu a partir de estudos das Organizações das Nações Unidas (ONU) sobre as mudanças do clima, como resposta para a humanidade diante da crise social e ambiental pela qual o mundo passava a partir da segunda metade do século XX (BARBOSA, 2008).

Em meados da década de 80, alguns fatores como impactos da agricultura moderna, destruição das florestas tropicais, chuvas ácidas, destruição da camada de ozônio, aquecimento global e efeito estufa se tornavam temas familiares para grande parte da opinião pública, principalmente os países mais ricos. Questionava-se até onde os recursos naturais suportariam o ritmo do crescimento econômico que o industrialismo imprimia ou mesmo se a humanidade suportaria as consequências do chamado “desenvolvimento”.

Na Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CMMAD), também conhecida como Comissão de Brundtland, foi desenvolvido um relatório que ficou conhecido como "Nosso Futuro Comum", também conhecido como relatório de Brundtland, que auxiliou a disseminar o ideal de um desenvolvimento sustentável para setores diferentes das sociedades modernas, tais como a agricultura e a economia. O relatório possui informações obtidas pela comissão ao longo de três anos de análise e pesquisa, destacando as questões sociais, com foco no que se refere ao uso da terra, sua ocupação, suprimento de água, abrigo e serviços sociais, educativos e sanitários, além de administração do crescimento (CMMAD, 1991).

O conceito desenvolvimento sustentável vem sendo definido de várias formas, mas entre essas definições destacamos o mais frequentemente citado no relatório de Brundtland: “O desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”, ou seja, uma melhor qualidade de vida para todos, para as gerações atuais e futuras. De acordo com esse conceito foram surgindo outros conceitos.

Desenvolvimento sustentável é uma estratégia de desenvolvimento que administra todos os ativos, os recursos naturais e os recursos humanos assim como os ativos financeiros e físicos de forma compatível com o crescimento da riqueza e do bem-estar em longo prazo. O desenvolvimento sustentável, como um ideal, rejeita políticas e práticas que deem suporte aos padrões de vida correntes à custa da deterioração da base produtiva, inclusive a de recursos naturais, e que diminuam as possibilidades de sobrevivência das gerações futuras. (REPETTO, 1986).

A sustentabilidade da agricultura e dos recursos naturais se refere ao uso dos recursos biofísicos, econômicos e sociais segundo sua capacidade, em um espaço geográfico, para, mediante tecnologias biofísicas, econômicas, sociais e institucionais, obter bens e serviços diretos e indiretos da agricultura e dos recursos naturais para satisfazer as necessidades das gerações presentes e futuras. O valor presente dos bens e serviços deve representar mais que o valor das externalidades e dos insumos incorporados, melhorando ou pelo menos mantendo de forma indefinida a produtividade futura do ambiente biofísico e social. Além do mais, o valor presente deve estar equitativamente distribuído entre os participantes do processo” (IICA/GTZ, 1992).

O desenvolvimento sustentável oferece uma visão de progresso que integra objetivos imediatos e de longo prazo, ação local e global, e se refere às questões ambientais, econômicas e sociais, sendo componentes inseparáveis e interdependentes do progresso humano (POTOCNIK, 2012).

O desenvolvimento sustentável deve ser consequência da preservação ambiental e do desenvolvimento econômico e social, como mostra a Figura 1. Essas três dimensões (ambiental, econômico e social) são a base para o desenvolvimento sustentável, conforme definidas a seguir:

- **Dimensão ambiental** – Se refere ao uso dos recursos naturais e à degradação ambiental e está associada aos objetivos de preservação e conservação do meio ambiente, sendo fundamental ao benefício das próximas gerações;
- **Dimensão econômica** – Essa dimensão trata do desempenho macroeconômico e financeiro e dos impactos no consumo de recursos materiais, produção e gerenciamento de resíduos e uso de energia.

- **Dimensão social** – Diz respeito à satisfação das necessidades humanas, melhoria da qualidade de vida e justiça social.

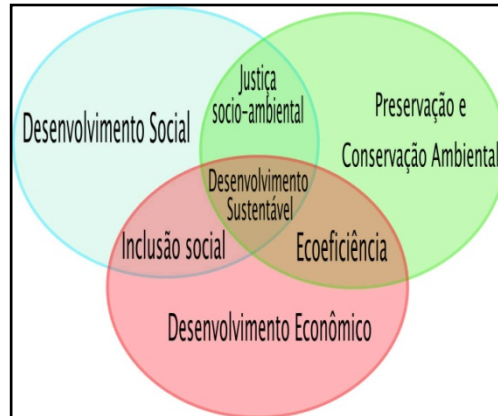


Figura 1 - Esquema representativo para alcançar a sustentabilidade. Fonte: (JUNIOR, 2012).

Segundo Canepa (2007), o desenvolvimento sustentável é caracterizado não como um estado fixo em harmonia, mas como processo de mudanças, em que se compatibiliza a exploração de recursos, o gerenciamento de investimentos tecnológicos e as mudanças institucionais com o presente e o futuro.

Ao longo do século passado, a agricultura em várias partes do mundo foi caracterizada por um aumento dramático na produtividade, resultando em alimentos relativamente acessíveis e disponíveis. De acordo com MILLETT *et al.* (2012), podem ser citados alguns dos fatores que estimulam este aumento. A saber:

- Disponibilidade relativamente barata de combustíveis fósseis, fertilizantes abundantes e água;
- Concentração e especialização na produção agrícola, incluindo o aumento do uso de automação e robótica;
- Aumento da mecanização da agricultura e da disponibilidade de novas tecnologias;
- Avanços no melhoramento das plantas, programas e subsídios governamentais;
- Expansão e comercialização de mercados.

Embora grande parte do foco em sustentabilidade tenha sido a mitigação das mudanças climáticas, com esforços destinados a gerenciar o ciclo de dióxido de carbono e aumentar as fontes de energia sustentáveis, existem outros desafios importantes da sustentabilidade como, por exemplos, a gestão da água, a melhoria do planejamento urbano, apoio à biodiversidade e produção de alimentos, que também podem ser transformados por avanços na pesquisa de computação.

As práticas agrícolas atuais representam desafios para a sustentabilidade do sistema alimentar, bem como para os sistemas sociais mais amplos, econômico e ambiental em que estão inseridas. A maior atenção dada à agricultura tem sido maximizar a produção para satisfazer à alimentação humana e às necessidades de fibras, enquanto que as considerações dos impactos ambientais e sociais são colocadas em segundo lugar (MILLETT *et al.*, 2012).

Existe uma preocupação crescente com relação às consequências negativas das tendências atuais na produtividade agrícola e uma preocupação de que essas tendências não possam continuar por tempo indeterminado. O aumento da produtividade agrícola tem gerado hipóxia, que é a baixa concentração de oxigênio em águas costeiras e interiores em todo o mundo devido ao aumento das concentrações de nitrogênio e fósforo, alterando a biogeoquímica do planeta (MILLETT *et al.*, 2012).

Um sistema sustentável de alimentos será fundamental para garantir que a população mundial receba nutrição necessária sem causar danos ao meio ambiente e a sociedade.

Um relatório elaborado recentemente pela *National Research Council* (2010) sobre agricultura sustentável define um “sistema de agricultura sustentável” como:

- Aquele que satisfaz à alimentação humana e às necessidades de fibras e contribui para os biocombustíveis;
- Melhora a qualidade ambiental e da base de recursos;
- Sustenta a viabilidade econômica da agricultura;
- Melhora a qualidade de vida dos agricultores, trabalhadores rurais e da sociedade como um todo.

A Associação Americana de Saúde Pública, em sua declaração política sobre os sistemas de alimentação sustentável, define um sistema alimentar sustentável

como sendo aquele que “fornece alimentos saudáveis para satisfazer as necessidades alimentares atuais e manutenção de ecossistemas saudáveis que também podem fornecer alimentos para as gerações vindouras com impacto mínimo para o meio ambiente” (*American Public Health Association*, 2007).

Uma elaboração do conceito amplo de sustentabilidade descrito acima é que um sistema não é sustentável, a menos que possa operar indefinidamente no futuro.

2.2 DESAFIOS PARA UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

O aumento das preocupações relacionadas à qualidade de vida e aos problemas ambientais ocorreu na metade da década de 80. O relatório de Brundtland lançou à humanidade o desafio do desenvolvimento sustentável, conceituado como uma espécie de ideal da sociedade contemporânea no final da década de 80 (MAROUELLI, 2003) e que vem evoluindo a cada ano. Como exemplo, cita-se a conferência recentemente ocorrida no Rio de Janeiro, a RIO+20⁴.

Desde o final dos anos 80 até os dias atuais tem-se proliferado as tentativas de definir o que é a agricultura sustentável, indicando o desejo de um novo padrão produtivo com garantia de segurança alimentar sem ter que agredir o meio ambiente.

A busca por sistemas agrícolas mais sustentáveis tem sido considerada um dos grandes objetivos desse novo milênio. Esses sistemas sustentáveis não utilizam intensivamente máquinas pesadas, fogo, agrotóxicos, adubação química e extensas áreas de monocultivo (PORTO, 2008). Os sistemas chamados de "sistema agrícola convencional" estão sendo repensados. Com isso, as práticas "tradicionais" estão sendo resgatadas e têm se reafirmado principalmente no contexto da agricultura familiar, pois há uma necessidade da valorização de experiências a partir dos saberes locais, sendo importante observar a complexidade e integração dos fatores bióticos e abióticos de um agroecossistema (PORTO, 2008).

Mesmo sendo visíveis os esforços para desenvolver sistemas agrícolas sustentáveis não se pode deixar de observar a demanda mundial por alimentos que

⁴ <http://www.rio-20.org/>

vem crescendo cada vez mais. O crescimento da renda em mercados emergentes como, por exemplos, México e China, produziram maiores exigências sobre as exportações agrícolas dos Estados Unidos da América (EUA), e no futuro a tendência é que essa demanda cresça cada vez mais (MILLETT *et al.*, 2012).

Os biocombustíveis emergentes e os campos de bioenergia também colocaram mais exigências sobre a agricultura que fornece materiais para a produção de energia alternativa. A agricultura do futuro possui um duplo desafio de conciliar a sustentabilidade e a produtividade (CAPORAL e COSTABEBER, 2004), ou seja, é impossível simplesmente abandonar as práticas convencionais, mas é necessário que o desenvolvimento agrícola seja construído a partir dos princípios da agroecologia.

Com relação aos impactos ambientais, a agricultura é caracterizada como um contribuinte para os gases do efeito estufa, principalmente metano e óxido nitroso (MILLETT *et al.*, 2012). As fazendas também servem como fontes de poluentes de ar, devido às queimas de biomassa e poeira trazidas pelo vento. Com relação à agricultura industrial, são utilizadas grandes quantidades de fertilizantes a base de nitrogênio, a fim de repor os nutrientes do solo e grandes quantidades de herbicidas e pesticidas para controlar plantas e pragas de insetos (MILLETT *et al.*, 2012). O crescimento da utilização desses adubos e pesticidas leva ao escoamento durante as fortes chuvas ou enchentes, ocorrendo à poluição de rios e córregos.

Pesquisas realizadas têm mostrado resultados satisfatórios com relação às práticas “alternativas” de cultivo, mesmo sendo uma área pouco estudada. Estas práticas são baseadas por sistemas de produção que promove a biodiversidade de plantas e animais, tanto abaixo quanto acima do solo. Os cultivos consorciados destas práticas podem ser citados como exemplo na utilização mínima de insumos (PORTO, 2008).

De acordo com Francis (1986), o cultivo múltiplo está na história das civilizações. Segundo Porto (2008), este tipo de sistema foi o primeiro tipo de agricultura organizada, caracterizada pela ampla diversidade de espécies de plantas, animais e pessoas, fazendo com que o agricultor utilize práticas com base em princípios agroecológicos.

As práticas agrícolas atuais, além dos impactos ambientais da agricultura moderna, também possuem impactos de saúde pública. A poluição do ar e da água

das fazendas não provocam danos apenas ao ambiente, mas também à saúde das pessoas que vivem ou trabalham no meio ambiente danificado ou próximo a ele.

2.3 AGRICULTURA ORGÂNICA

De acordo com a Lei 10.831 de dezembro de 2003, “considera-se sistema orgânico de produção agropecuário todo aquele em que se adotam técnicas específicas, mediante a otimização do uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis e o respeito à integridade cultural das comunidades rurais, tendo por objetivo a sustentabilidade econômica e ecológica, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energia não renovável e a proteção do meio ambiente”.

A agricultura orgânica tem como objetivo atingir uma produção comercial estável com base em processos ecológicos e biológicos, cuja meta é produzir por meio de processos já presentes nos ecossistemas, sendo eles menos poluentes ou não poluentes, com saldo energético melhor e fazendo valer de recursos disponíveis no próprio ambiente, com poucos aportes de origem não renovável (FONTES, 2005).

A prática da diversificação de culturas é um dos princípios básicos da agricultura orgânica. Em um ambiente todos os organismos vivos (animais e plantas) estão em equilíbrio e é por isso que convivem sem problemas. Na agricultura orgânica procura-se, na medida do possível, imitar o que ocorre no meio ambiente. Essa diversidade é o objetivo principal que a agricultura orgânica espera em contribuir para a manutenção do equilíbrio do sistema e, conseqüentemente, do solo e das culturas (SILVA, 2012).

Com isso, para se obter um equilíbrio ambiental, bem como a fertilidade do solo, é impossível ser mantido com o monocultivo. Esse uso contínuo em uma área e uma mesma estação de crescimento vai contra os conceitos da agricultura orgânica.

Em decorrência das grandes guerras, a demanda por cereais fez com que surgisse a agricultura dirigida, prevalecendo à monocultura. Com isso, o uso intensivo, de maneira inadequada e de forma exagerada da mecanização, dos

agrotóxicos, dos corretivos e dos adubos químicos, associados ao monocultivo e à erosão do solo, conduz a maioria dos solos cultivados no cultivo convencional, ou agricultura moderna, a um processo de auto degradação e ao crescimento gradativo de doenças, pragas e plantas espontâneas (SILVA, 2012). A prática do cultivo consorciado é muito utilizada no cultivo orgânico.

2.3.1 Consórcio de Culturas

O consórcio de culturas é considerado como uma prática dos princípios da agricultura orgânica, tais como a diversidade e a interação entre as culturas e entre outros mecanismos de regulação natural. Ele é o crescimento de duas ou mais culturas próximas no mesmo campo durante o período de crescimento para promover interação entre elas (JESEN *et al.*, 2012).

O cultivo de várias espécies e variedades de plantas fazem com que a produtividade se estabilize em longo prazo, promovendo a diversidade do regime alimentar e maximizando os lucros com baixos níveis de tecnologia e recursos limitados (RICHARDS, 1985).

Outro fator importante para a grande diversidade de espécies desenvolvidas em policultivos é que ajuda na prevenção de pragas, evitando sua proliferação entre indivíduos da mesma espécie (ALTIERI, 1991).

No consórcio de duas ou mais culturas é esperado a interação entre elas para melhorar a utilização dos recursos ambientais e dos fatores de crescimento, como consequência do sistema de consórcio entre culturas. Entre as vantagens de um sistema consorciado, podemos destacar que o consórcio permite uma maior capacidade competitiva em relação às plantas espontâneas (SILVA; SILVA, 1984) e maior estabilidade de rendimento (WILLEY, 1979).

Nos sistemas de consórcio é possível observar uma maior cobertura do solo, fazendo com que a penetração da luz até ele seja menor, assim como a germinação, emergência e estabelecimento de plantas espontâneas e a erosão (ALTIERI, 1992).

Destacamos ainda que o consórcio lida com fases vegetativas e espécies diferentes, fazendo com que seja propício a otimização da força de trabalho disponível e dos recursos ambientais, obtendo safras maiores e consequentemente

uma lucratividade elevada ao pequeno agricultor, pois as culturas não são cultivadas necessariamente na mesma ocasião e suas épocas de colheitas podem ser bastante diversificadas (GONÇALVES, 1982), garantindo uma dieta alimentar variada e distribuindo melhor a renda durante todo o ano (PORTO, 2008).

Para estabelecer um consórcio entre culturas é preciso observar vários aspectos, entre eles as combinações entre as culturas, densidade populacional entre as culturas envolvidas e a época de plantio de cada cultura (OLIVEIRA *et al.*, 2004; BARROS JÚNIOR *et al.*, 2005; BEZERRA NETO *et al.*, 2005; OLIVEIRA *et al.*, 2005).

Preferencialmente o consórcio é feito com plantas companheiras. Elas se ajudam e se complementam mutuamente, não apenas na ocupação do espaço e utilização de recursos, tais como água, luz e nutrientes, mas também por meio de interações bioquímicas, chamados efeitos alelopáticos (GOLDFARB; PIMENTEL; PIMENTEL, 2009).

O termo alelopatia foi criado em 1937 pelo pesquisador alemão Hans Molish, com a união de duas palavras gregas “*allélon*” e “*pathos*”, que significa “mútuo” e “prejuízo”, respectivamente.

De acordo com Molish (1937), a alelopatia é a capacidade das plantas em produzirem substâncias químicas, que liberadas no ambiente de outras plantas vão influenciar de forma favorável ou desfavorável o seu desenvolvimento. Essas interações químicas podem ser de natureza estimuladora e inibidora, não somente para as plantas, mas também para os insetos e outros animais.

Quando se pensa em realizar um consórcio de culturas, deve-se evitar utilizar plantas que são antagônicas. Uma planta é antagônica para outra quando inibe seu potencial de crescimento, liberando substâncias no solo ou no ar que são capazes de invadir o espaço de outras plantas e com isso limitar suas necessidades de água e luz (CEZAR, 2012).

O consórcio de culturas tem como característica contribuir com a conservação do solo, lucrar mais com menos espaço e reduzir a incidência de pragas e doenças nas culturas. Algumas vantagens do consórcio são (CAETANO *et al.*, 1999; COELHO *et al.*, 2000; WILLEY, 1979; ALTIERI, 1992; SILVA; SILVA, 1984):

- Melhor aproveitamento da área;
- Melhor aproveitamento da mão de obra;

- Maior diversificação da dieta alimentar;
- Maior lucro por unidade de área cultivada;
- Maior estabilidade do rendimento;
- Maior cobertura do solo (reduz a germinação de plantas espontâneas e erosão);
- Melhor captação da radiação fotossintética ativa das culturas (maior competição entre as plantas espontâneas).

De acordo com Porto (2008), a demanda por olerícolas mais saudáveis vem crescendo gradativamente e o consórcio entre culturas é um dos sistemas de produção com viabilidade agroeconômica capaz de atender parte dessa demanda. Em pesquisas realizadas sobre consórcios esses tipos de culturas demonstrou ser altamente viáveis (BEZERRA NETO *et al.*, 2005; OLIVEIRA *et al.*, 2005).

Com o intuito de apresentar resultados entre o consórcio utilizando duas culturas, este trabalho procurou abranger culturas que são cultivadas por horticultores no semiárido nordestino. A saber: Abóbora, Acelga, Alface, Alho, Berinjela, Beterraba, Cebola, Cenoura, Couve, Espinafre, Feijão, Girassol, Milho, Pepino, Repolho, Rúcula, Salsa, Tomate e Vagem.

2.3.2 Rotação de Culturas

A rotação de culturas é uma prática agrícola onde a observação e a experiência dos agricultores mostram a necessidade de variar os cultivos das culturas na mesma área. Essa prática tem como objetivo evitar a exaustão do solo, evitando que sempre sejam retirados deste os nutrientes de forma sistemática. Outra característica da rotação de culturas é evitar que as pragas e doenças consigam permanecer e se tornem incontroláveis (SILVA, 2011).

Essa prática é considerada um cultivo alternado de diferentes culturas no mesmo local e na mesma estação do ano. Se porventura a rotação de culturas for utilizada de forma correta será um investimento no solo, no qual resultará em benefícios tanto para o rendimento quanto para qualidade das hortaliças, além de

equilibrar a fertilidade do solo e diminuir as pragas, doenças e plantas espontâneas (SILVA, 2011).

Na prática de rotação de cultura, após a colheita da cultura é necessário revolver o solo do canteiro novamente, fazer a adubação e escolher uma nova cultura que será cultivada, tendo o cuidado para não escolher a mesma hortaliça ou espécie da mesma família no mesmo lugar, pois o plantio contínuo de uma mesma hortaliça ou até mesmo da mesma família irá fazer com que o solo esgote em relação aos nutrientes específicos (N, P, K) requeridos em maior quantidade, fazendo com que o desenvolvimento das culturas se torne mais fraco (BEVILACQUA, 2011).

Em geral é recomendável fazer a rotação a cada plantio, alternando as hortaliças de folhas (alface, couve, etc.), raízes (beterraba, cenoura, etc.) e de frutos ou flores (tomate, couve-flor, etc.). Porém o melhor a se fazer é escolher culturas de famílias diferentes (BEVILACQUA, 2011; SILVA, 2011), e com base nos conceitos apresentados sobre alelopatia anteriormente não utilizar culturas que sejam antagônicas para as culturas que estão sendo cultivadas.

2.4 CONTRIBUIÇÕES DA COMPUTAÇÃO NA SUSTENTABILIDADE

A criação de um sistema alimentar global mais sustentável não é uma tarefa fácil de ser concretizada. Um sistema sustentável de alimentos será fundamental para garantir que a população mundial receba nutrição necessária sem dano adicional, sendo feito para o meio ambiente e a sociedade. Millett *et al.* (2012) descreve algumas abordagens para a contribuição da computação com relação à sustentabilidade, embora nenhuma dessas abordagens sejam suficientes sozinhas.

Cada uma pode contribuir para um maior nível de sustentabilidade e poderiam se beneficiar das contribuições da Ciência da Computação. As abordagens descritas por Millett *et al.* (2012) para um sistema sustentável de alimentos incluem: uma visão sistêmica do desafio; desenvolvimento de métodos para medir os custos, benefícios e impactos de diferentes sistemas agrícolas; utilização da agricultura de precisão para minimizar insumos necessários; tornar a informação acessível para consumo

informado e; desenvolvimento de redes sociais para o alimento local (MILLETT *et al.*, 2012).

Técnicas computacionais serão valiosas para o desenvolvimento de conhecimentos científicos e tecnológicos de engenharia, incluindo métodos aperfeiçoados orientados a dados e modelagem e simulação para melhorar o grau de conhecimento científico em agroecologia. Redes mais inteligentes de energia, agricultura sustentável e infraestrutura resistente fornecem exemplos concretos e importantes do papel potencial da inovação da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) na pesquisa em sustentabilidade (MILLETT *et al.*, 2012).

De modo geral, existe uma necessidade de se ter uma visão sistêmica da agricultura, bem como ter uma visão sistêmica em outras áreas da sustentabilidade, a fim de compreender e analisar o impacto total da agricultura sobre o meio ambiente, a economia e a sociedade.

Todos os pontos do sistema são relevantes diante de uma perspectiva de sistemas. Na própria fazenda, podem combinar a produção agrícola e a pecuária, de modo a reduzir a necessidade de fertilizantes sintéticos. A agricultura tradicional tem se focado no controle de ecossistema agrícola, simplificando, através da monocultura, aplicação de insumos externos (fertilizantes, pesticidas e herbicidas) (MILLETT *et al.*, 2012).

Uma visão sistêmica pode fornecer orientações sobre como desenvolver maneiras de tornar o sistema como um todo mais sustentável. Um exemplo seria que ao invés de uma fazenda, ou fazendas, em isolamento e com entradas e saídas, poderia-se ver todo o ciclo de produção e consumo de alimentos como o fornecimento de recursos naturais para o cultivo de alimentos que é consumido por pessoas (MILLETT *et al.*, 2012).

Neste ciclo são incluídos a água, a terra e outros fatores de produção como, por exemplos, colheitas, transporte, processamento, distribuição, consumo, reciclagem e resíduos. Em cada uma dessas etapas há efeitos sobre o meio ambiente e a sociedade. É importante considerar as conexões entre fazendas, o ecossistema e comunidades (local, regional e global).

Um papel importante para a Ciência da Computação é permitir que os agricultores gerenciem esses sistemas complexos através de mecanismos como o sensoriamento, modelagem preditiva e máquinas de precisão (MILLETT *et al.*, 2012).

Para a medição de custos totais, benefícios e impactos de diferentes sistemas agrícolas se faz necessário o desenvolvimento de métodos e ferramentas para o mesmo. Por exemplo, estudos comparativos de emissões de efeito estufa de diferentes campos de práticas de gestão de resíduos de animais permitiriam uma melhor quantificação do impacto ambiental de sistemas agrícolas e com isso fazer com que os preços reflitam os custos e melhor valor.

No geral, a avaliação de sistemas agrícolas exigirá equilíbrio entre a produtividade e eficiência com os impactos ambientais e sociais. A tarefa exigirá a análise precisa de sistemas complexos de grande dimensão (MILLETT *et al.*, 2012).

Nos últimos 50 anos, o uso da informação e da tecnologia de computação na agricultura vem crescendo gradativamente. Isso tem permitido que os agricultores avaliem a variação dentro dos campos e geralmente mantenham ou aumentem os rendimentos e reduzam os insumos (MILLETT *et al.*, 2012).

As tecnologias utilizadas são o Sistema de Posicionamento Global, em tempo real, e sistemas de informações geográficas. Segundo Millett *et al.* (2012), a Ciência da Computação já exerce um papel importante nesta área e vai continuar a desempenhar um papel mais importante e fundamental no futuro, pois com o avanço da tecnologia e com o crescimento de informações disponíveis integrar essas informações para obter conhecimento será de grande importância para produtores e consumidores tomarem decisões mais sustentáveis.

Há também uma ligação com metodologias para quantificar os custos e benefícios. Por exemplo, se o custo da água para o uso agrícola reflete o custo real pode haver mais incentivo para utilizar a agricultura de precisão do que para reduzir o consumo de água.

O aumento de informações disponíveis para os indivíduos a respeito da natureza do alimento que eles comprem e como esse alimento foi produzido podem ajudá-los a fazer escolhas sustentáveis com relação a esse alimento.

Existe um mercado emergente para os alimentos que tenham sido produzidos de forma sustentável. De acordo com Millett *et al.* (2012), nos EUA o padrão alimentar mais bem estabelecido é a certificação da agricultura orgânica, que se concentra principalmente na saúde e metas ambientais e não alcança os objetivos mais amplos da agricultura sustentável.

Nos EUA, os rótulos dos alimentos fornecem algumas informações como, por exemplo, o país de origem das carnes e das frutas, mais informações gerais sobre sustentabilidade e transporte do alimento (MILLETT *et al.*, 2012).

As normas atuais e certificações são normalmente comunicadas utilizando logotipos ou outra rotulagem de impressão nas embalagens dos alimentos. No entanto, existe potencial para fornecer informações muita mais rica em matéria de sustentabilidade e informações para ajudar os consumidores através de rótulos ecológicos no mercado.

Devido à grande utilização de *smartphones* será mais fácil a disseminação dessa informação, uma vez que os usuários podem procurar por informações com relação à sustentabilidade no ponto da compra do alimento. Um exemplo disso é o guia *Monterey Bay Aquarium's Seafood Watch*⁵, que fornece informações detalhadas e atualizadas sobre que tipos de frutos do mar são capturados ou cultivados de forma sustentável. Esse guia está disponível em *site* e também como aplicativo de *smartphone* para que os consumidores possam ter acesso portátil à sua grande base de dados.

A Ciência da Computação pode ser utilizada para aumentar a rede entre indivíduos e as organizações, incentivando o consumo de alimentos de origem local e regional. A *Community Supported Agriculture*⁶ (CSA) já beneficia o poder de organização das redes *on-line* para distribuir informações que sejam relevantes, criar mercados para os produtos agrícolas locais, fazendo com que se torne mais fácil de realizar pedidos, e ajudar a conectar os consumidores com alimentos da região local.

No geral, a Ciência da Computação pode ser utilizada para ajudar a realizar um mercado mais eficiente para alimentos locais (MILLETT *et al.*, 2012). Além da eficiência, não há argumentos de que os consumidores tenham conexões emocionais com alimentos e técnicas para fortalecer a conexão agricultor com consumidor, que também poderiam ser valiosas. Ela também pode ser útil para recolher informações sobre superávits ou déficits regionais, permitindo que os alimentos frescos sejam alocados para áreas onde eles são mais necessários, diminuindo a dependência de alimentos processados com vida útil mais longa (MILLETT *et al.*, 2012).

⁵ <http://www.montereybayaquarium.org/cr/seafoodwatch.aspx>

⁶ <http://www.justfood.org/csa>

A integração de informações pode ajudar indivíduos e organizações, tanto na demanda quanto na oferta do sistema alimentar em fazer escolhas sustentáveis em matéria de produção e consumo de alimentos (MILLETT *et al.*, 2012). Propor informações aos consumidores sobre a sustentabilidade da produção de alimentos, além de outros aspectos relacionados à sustentabilidade como, por exemplos, saúde e impactos ambientais, vai exigir compartilhamento e integração das informações através de plataformas de produção e de consumo.

O desenvolvimento e otimização da infraestrutura e arquitetura para a integração dessas informações será uma importante contribuição da Ciência da Computação. De modo geral, as áreas da Ciência da Computação incluem a criação de base de dados de informações e a manutenção destas, conectando agricultores e consumidores através de redes sociais e da internet (MILLETT *et al.*, 2012).

Outra área da Ciência da Computação de grande contribuição é a de desenvolvimento de *software* para aperfeiçoar as escolhas alimentares sustentáveis de compra para os consumidores e compradores de grande escala (por exemplo: supermercados).

São necessárias ferramentas para ajudar os consumidores e formuladores de políticas entenderem as compensações colocadas pelo sistema alimentar global. A função da Ciência da Computação nesse ponto não é apenas fornecer informações sobre disponibilidade e técnicas, mas também permitir o acesso às comunidades de pessoas que tenham interesses iguais (MILLETT *et al.*, 2012).

Esforços para incentivar a preparação e o cultivo de alimentos numa agricultura familiar poderia ter um impacto relevante sobre as necessidades de distribuição global, no qual a Ciência da Computação seria uma ferramenta crucial para o auxílio de uma agricultura sustentável, onde poderia informar ao indivíduo a melhor maneira de cultivar esses alimentos de acordo com suas necessidades. Aumentar a disponibilidade de alimentos frescos e saudáveis em certas comunidades de baixa renda também ajudaria (MILLETT *et al.*, 2012). Outros desafios existem em prever a informação que os compradores precisarão, exibindo informações que irão incentivar hábitos de consumo sustentáveis, educando os consumidores sobre escolhas sustentáveis sem a necessidade de sobrecarregá-los.

A Ciência da Computação contribui com a melhoria da eficiência do sistema de alimentos, exigindo a modelagem de um sistema complexo e interativo e métodos para prever a escassez de alimentos e de excedentes, com o intuito de ajudar a

garantir que o alimento estará disponível em diferentes regiões com custos admissíveis (MILLETT *et al.*, 2012).

Com base no modelo do sistema alimentar, também pode avaliar os custos e benefícios de diferentes estratégias agrícolas, projeto de galpões de alimentos e sistema de distribuição.

Diante dos pontos abordados, vê-se que a Ciência da Computação contribui com relação à sustentabilidade, pois através de ferramentas e dados disponíveis é possível obter informações mais precisas e eficientes para tomadas de decisões, melhorando a eficiência dos produtores e consumidores na hora de pesquisar informações relacionadas à agricultura sustentável.

3. TRABALHOS RELACIONADOS

Diversas ontologias de domínio da agricultura têm sido propostas como consequência de raciocínio automático neste contexto. Avraham *et al.* (2008) desenvolveram *The Plant Ontology Consortium* (POC) um vocabulário controlado que permite aos utilizadores atribuir características de plantas de estrutura (anatomia e morfologia) e estágios de desenvolvimento de tipos de dados, tais como genes e fenótipos, fornecendo uma estrutura semântica e banco de dados para fazer comparações.

Apesar de algumas semelhanças, o foco do projeto é diferente e mais orientado para técnicas específicas, tais como consórcio. Propriedades semânticas aqui propostas permitem comparações baseadas em princípios de sustentabilidade e o usuário pode observar os potenciais impactos positivos e negativos antes do experimento começar.

No trabalho de Roussey *et al.* (2010) é apresentado um portal *web* semântico no domínio da agricultura sustentável, em que as contribuições de diferentes áreas, como o processamento de linguagem natural, a integração de banco de dados, recuperação da informação e tecnologias da *web*, são descritos. O problema da falta de informação é discutido e os autores afirmam que "o conhecimento para levar à agricultura sustentável ainda não está disponível porque este conhecimento pode não existir ou é muito localizado, difícil de adquirir e repetir". Dois objetivos do portal *Web* semântico são apontados: recuperação de documentos usando palavras-chave e apoio para os agricultores do grupo com problemas semelhantes.

Bansal e Malik (2011) apresentam um *framework* que não fornece apenas informações contextuais relevantes, mas também informações cientificamente precisas sobre o ciclo de produção da cultura. Nesta pesquisa, o AGROVOC é usado como uma base para o desenvolvimento do vocabulário da ontologia, que serve como um bloco de construção de uma ontologia orientada a um *framework* para um sistema de aplicação agrícola.

Bansal e Malik (2011) desenvolveram uma ontologia (CROPont) que se refere ao conceito do AGROVOC. O CROPont e o AGROVOC atuam como bases de conhecimento que ajudam adicionando informações por especialistas do domínio. O

sistema é capaz de fornecer conselhos em nível do agricultor individual, mas de uma forma genérica.

Shoaib e Basharat (2010) apresentam um *framework* nomeado como IAIF (*Integrated Agriculture Information Framework*), que permite a extração de conhecimento a partir de repositórios de vários domínios relacionados. O principal objetivo é representar, de forma significativa, a combinação de fusão e agregação de dados presentes em repositórios de conhecimentos existentes, através da utilização de metadados e ontologias de domínio. Uma característica importante e fundamental do IAIF é o mecanismo de integração semântica utilizada, o que permite a captura de informação a partir de diferentes tipos de fontes de dados.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) desenvolveu estudos sobre uma ontologia para apoiar experiências sobre o projeto de mapeamento digital dos solos (DSM – *Digital Soil Mapping*). Este trabalho foi desenvolvido por Cunha *et al.* (2009) e consiste de uma ontologia para a descrição de experiência para prever informações sobre a fertilidade do solo no DSM. O objetivo principal é tornar disponível na *Web* um sistema para facilitar a gestão de experimentos científicos envolvendo DSM.

Apesar da relevância de todas essas obras mencionadas, as particularidades e complexidades de técnicas sustentáveis como, por exemplo, o consórcio, merecem mais esforços de pesquisa, a fim de serem mais eficazes como uma ferramenta de recomendação. As características de muitos trabalhos apresentados na literatura, para o melhor de nosso conhecimento, não foi completamente bem sucedido em recomendar combinações que sejam realmente adaptadas ao contexto ambiental e conforme os aspectos sociais e econômicos, como afirmam os princípios da sustentabilidade. Este é especificamente o foco deste projeto cujo modelo semântico é descrito no próximo capítulo.

4. MODELO SEMÂNTICO PARA O DOMÍNIO DO CONSÓRCIO DE CULTURAS

4.1 VISÃO GERAL DO MODELO

Projetos agrícolas são particularmente valiosos para obter conhecimento sobre sustentabilidade. Embora o foco esteja na dimensão ambiental, aspectos sociais e econômicos também são importantes para descrever esses projetos.

Neste trabalho, foi utilizado um experimento de doutorado intitulado: Bicultivo de Alface e Rúcula Consorciadas com Cenoura em Faixas (PORTO, 2008), cujo objetivo principal é avaliar o desempenho e a produção de um experimento consorciado envolvendo culturas.

Considerada sustentável de acordo com a literatura descrita no Capítulo 2, o projeto serviu de base para reunir informações importantes sobre a agricultura de domínio, tais como culturas, ciclo das culturas, espaçamento, clima e indicadores sociais e econômicos utilizados para fins de avaliação. Embora, inicialmente aplicada para o contexto do consórcio e rotação de culturas, o modelo gerado pode ser extensível a outras técnicas e contextos, fortalecendo a sua própria capacidade de representação do conhecimento e análise integrada.

Não foi identificada na literatura consultada nenhuma ontologia específica que represente as informações utilizadas neste trabalho, que são as técnicas de cultivos sustentáveis para regiões do semiárido. Para este fim, foi realizada uma pesquisa para obter características fundamentais relativas às culturas, consórcio e rotação de culturas. A ontologia resultante representa o conhecimento sobre o domínio da agricultura do semiárido, incluindo famílias das culturas.

4.2 DETALHAMENTO DA METODOLOGIA ESCOLHIDA

Os autores Noy e McGuiness (2001) criaram algumas regras úteis que passaram a ser utilizadas como metodologias em diversos trabalhos. Eles tiveram o objetivo de compartilhar a sua própria experiência que envolve um processo de

construção de ontologias. A metodologia foi utilizada para o modelo ontológico, desenvolvido neste trabalho em conjunto com a ferramenta Protégé⁷ que os autores utilizaram. Ela é uma plataforma gratuita, um editor de ontologia *open source*, desenvolvida em Java, e por um grupo da Universidade de Stanford. O Protégé é uma ferramenta que permite construir ontologias de domínio, personalizar formulários de entrada de dados, inserir e editar dados, tornando possível a criação de bases de conhecimento guiadas por uma ontologia.

A Figura 2 representa a *interface* gráfica que o Protégé apresenta, provendo o acesso à barra de menus, barra de ferramentas e cinco áreas de visualização (*views*) que funcionam como módulos de navegação e edição de classes, atributos, formulários, instâncias e pesquisas na base de conhecimento, propiciando a entrada de dados e a recuperação das informações (PASCHOAL, 2005).

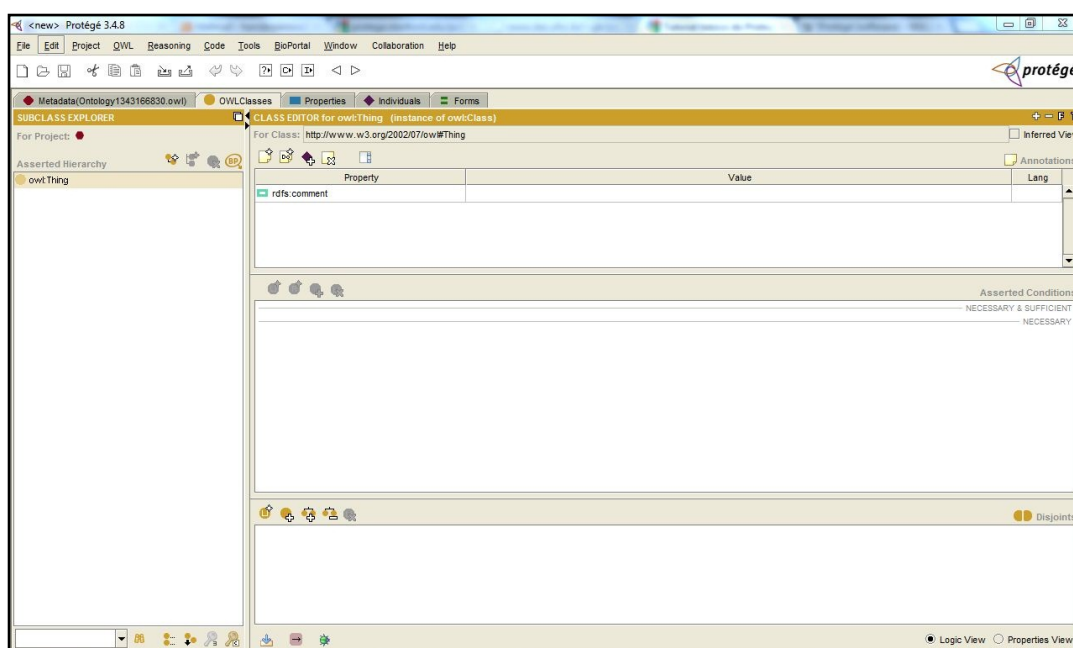


Figura 2 - Interface gráfica do Protégé. Fonte: (Autoria própria).

Nas próximas seções, será apresentado o detalhamento de cada etapa para construção do modelo da ontologia referente à metodologia utilizada neste trabalho, bem como as definições das classes, hierarquias, propriedades e instâncias.

⁷ <http://protege.stanford.edu/>

a) Determinar o domínio e o escopo da ontologia

O modelo da ontologia tem como ideia chave auxiliar o agricultor na hora de escolher quais culturas deverão ser plantadas de forma que seja sustentável. No que diz respeito à essência do trabalho, serão consideradas as culturas das hortaliças, por ter alto valor que alcança no mercado, sendo uma exploração agrícola altamente compensadora por ser uma fonte natural de vitaminas e sais minerais, fazendo com que seja indispensável sua necessidade na alimentação e por apresentarem propriedades medicinais (SOUZA, 2012) e as culturas leguminosa (feijão) e oleaginosa (girassol). Isso não impedirá que futuramente o modelo seja estendido para outros tipos de culturas. Para o cultivo destas foram considerados métodos de cultivo que causem menor impacto nas dimensões da sustentabilidade. Com isso, foram utilizados os conceitos sobre o consórcio de culturas e a rotação de culturas (SOUZA e FIALHO, 2003).

Partindo desses tipos de cultivos, o modelo deverá responder questões relativas e definir quais culturas são mais propícias a serem plantadas juntas ou as que não são favoráveis. O modelo está mais focado na parte do consórcio entre culturas, utilizando a rotação de culturas apenas para apresentar informações de uma possível combinação futura entre elas que será apresentada na aplicação. Com isso, o modelo constará informações das culturas que serão relevantes para o cruzamento dessas informações em relação ao consórcio entre duas culturas.

Neste sentido, considerando o que foi descrito acima, o modelo deve ser capaz de auxiliar o agricultor a escolher melhor quais culturas serão melhores para ser plantadas em consórcio, onde serão observados quais consórcios causarão menor impacto nas dimensões da sustentabilidade. O modelo será capaz de apresentar informações sobre as características das culturas e também quais culturas não são propícias a serem plantadas juntas, as quais são denominadas de plantas antagônicas.

b) Considerar o reuso de ontologias existentes

Apesar da diversidade de ontologias existentes já no formato eletrônico, na pesquisa feita para a construção desse modelo nada foi encontrado. Embora existam diversos vocabulários definidos na área da agricultura, nenhum mostrou ser útil o suficiente para o que este trabalho propunha.

c) Enumerar termos importantes na ontologia

Nesta etapa é importante descrever uma lista de todos os termos que estarão presentes no modelo. De acordo com a metodologia, para responder as perguntas: “Quais são os termos que gostaríamos de falar?”, “Quais as propriedades que estes termos têm?”, “O que gostaríamos de dizer sobre esses termos?”, referentes aos termos do domínio a serem abordados em conjunto com as principais características dos mesmos, foi decidido desenvolver a Tabela 1. Ela traz informações como nome, descrição, subclasse e características gerais dos conceitos do domínio a serem modelados.

Tabela 1 - Termos importantes na ontologia.

Nome	Descrição	Subclasse	Características
Culturas agrícolas	Representam todas as culturas agrícolas.	- Família	- Representam de forma geral as culturas agrícolas
Família	Representa as famílias das culturas agrícolas.	- Nome das famílias	- Caracterizada por representar as famílias das culturas
Cultura	Representa a cultura da horta	—	- Família - Ciclo da cultura - Necessidade de luz - Necessidade de

			água - Profundidade da raiz - Época de plantio - Espaçamento - Nome científico
Planta companheira	Representa as culturas que permite o plantio perto de outra cultura	—	- Culturas
Planta antagonica	Representa as culturas que prejudicam se plantada perto de outra cultura	—	- Culturas
Consórcio de culturas	Representa a combinação entre duas culturas	—	- Culturas - Época de plantio - Ciclo da cultura - Planta companheira

As informações descritas na tabela ainda não definem quem será classe, atributo ou como serão seus relacionamentos. Os termos representados funcionam apenas de referência para escolha e hierarquia das classes, propriedades e restrições correspondentes a cada uma delas.

d) Definir as classes e a sua hierarquia

Segundo Uschold e Gruninger (1996), nesta fase de definição das classes e hierarquias existem algumas abordagens possíveis para o seu desenvolvimento. A utilizada nesse trabalho foi o “*top-down*”, processo de desenvolvimento que começa com a definição de conceitos mais gerais no domínio e subsequente especialização dos conceitos (NOY e MCGUINNESS, 2001). Para a criação das classes e a sua

hierarquia foi necessário o uso da ferramenta Protégé, versão 3.4.8, para o desenvolvimento do mesmo. O resultado da hierarquia das classes é apresentado na Figura 3.

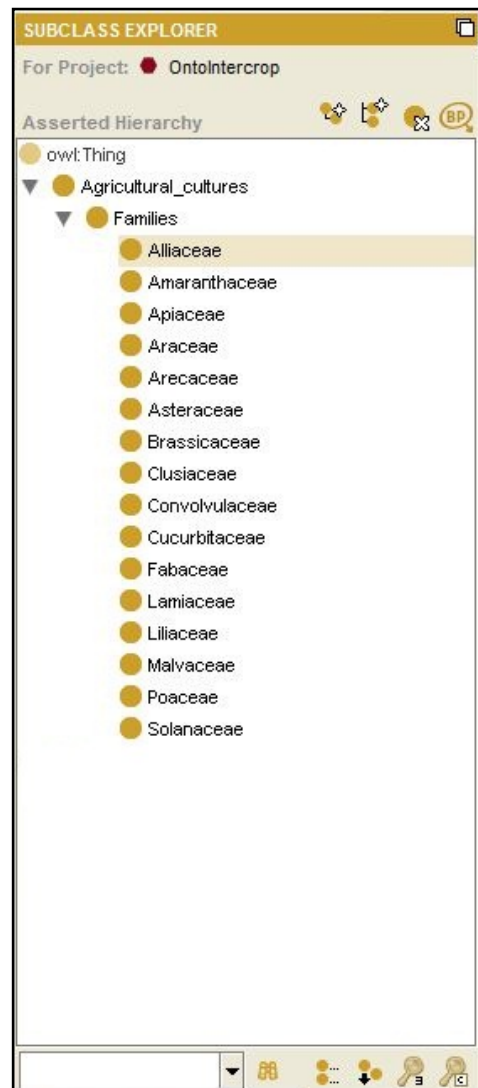


Figura 3 - Hierarquia das classes.

Como se pode observar na Figura 3, todas as classes herdam de uma superclasse denominada *Thing*, mãe de todas as classes. A partir dela são criadas as classes e subclasses do domínio que se deseja descrever. Outro ponto que se pode observar é a escolha de alguns elementos como sendo classes e não propriedades, como é o caso das classes que representam as famílias das culturas. Elas foram criadas para organizar melhor as culturas instanciadas na ontologia em sua respectiva família.

e) Definir as propriedades das classes – *slots*

As classes não fornecem informações sozinhas para responder às questões de competência descritas na etapa “a”. É necessário descrever a estrutura interna dos conceitos, já que têm sido definidas as classes. Estas foram definidas através dos termos descritos na Tabela 1, os demais termos tendem a se tornarem propriedades dessas classes.

Sendo assim, nesta etapa serão modeladas as características (*slots*) que completarão as características das culturas instanciadas nas classes, concluindo o desenvolvimento do cenário. Na Figura 4, podemos observar os relacionamentos existentes que serão utilizados para relacionar os conceitos.



Figura 4 - Propriedades de relacionamento.

Na Figura 4, podemos observar que as propriedades foram definidas para fazer o relacionamento entre as instâncias, que representarão quais culturas são companheiras e quais são antagônicas de determinada cultura. Para isso, as propriedades criadas foram *has_Companion* e *has_Antagonist*, que representam se determinada cultura tem companheira e se tem cultura antagônica, respectivamente. Elas foram definidas do tipo inversas. Isso acontece quando uma propriedade liga um indivíduo “a” a um indivíduo “b”, então a propriedade inversa correspondente liga o indivíduo “b” a um indivíduo “a” (Figura 5). Isso se caracterizou devido determinada cultura “X” ser companheira de cultura “Y”, então consequentemente a cultura “Y” vai ser companheira de “X”, o mesmo acontece para a propriedade de culturas antagônicas. Se cultura “A” é antagônica de “B”, então a cultura “B” obrigatoriamente vai ser antagônica de “A”. Suas propriedades inversas para *has_Companion* e *has_Antagonist* são, respectivamente, *is_Companion_of* e *is_Antagonist_of*.

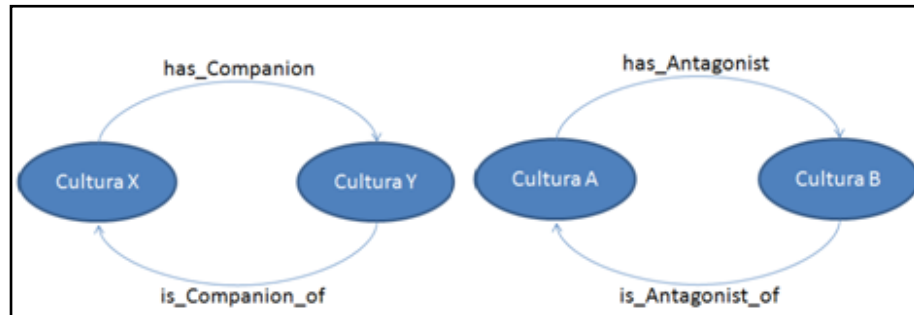


Figura 5 - Propriedades de relacionamento entre culturas.

Após ter definido essas propriedades de relacionamento, também foram definidas algumas características das culturas que podem ser relevantes inicialmente para extrair conhecimento através delas. As características foram:

- **Ciclo da cultura** – Determina o ciclo que a cultura leva para a colheita;
- **Época de plantio** – Representa os melhores meses para o plantio da cultura;
- **Raiz profunda** – Representa se a cultura possui raiz profunda ou não;
- **Espaçamento** – Descreve o espaço que a cultura precisa para ser plantada;
- **Necessidade de água** – A quantidade de água que a cultura precisa;
- **Necessidade de luz** – Representa a quantidade de luz que a cultura precisa;
- **Nome científico** – Representa o nome científico da cultura;
- **Família** – Descreve a família da cultura.

Essas propriedades foram definidas como *Culture_cycle*, *Planting_season*, *Deep_root*, *Spacing*, *Water_need*, *Light_need*, *Scientific_name* e *has_Family*, respectivamente.

Na Figura 6, podemos observar as propriedades que foram definidas para representar as características das culturas. Elas são definidas como *datatype* e por padrão podem ter valor como *Strings* e números, com isso será possível definir as características das culturas com seus respectivos dados.

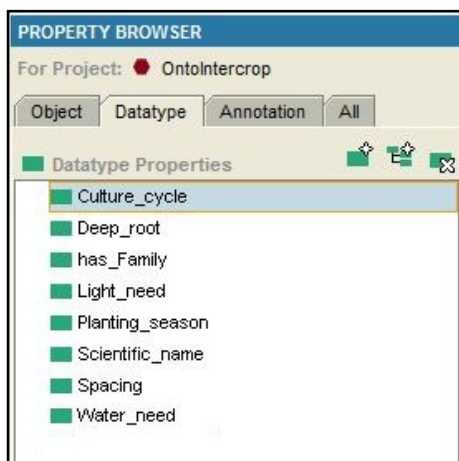


Figura 6 - Propriedades referentes às características.

Entre as características definidas, as mais relevantes para o consórcio entre culturas foram *Culture_cycle*, *Planting_season*, *Deep_root* e *has_Companion*. De acordo com Souza e Fialho (2003), elas são importantes para definir um consórcio entre duas culturas.

Baseado em conceitos de agricultura sustentável (LOPES, 2007; SULLIVAN, 2003), muitos conceitos relacionados à consorciação e rotação de culturas (SOUZA e FIALHO, 2003) foram definidos, bem como as regras semânticas para o raciocínio. Usando inferência, estas regras são usadas para recomendar alternativas sustentáveis para o cultivo com menor impacto sobre as dimensões da sustentabilidade. Descrições detalhadas de tais especificidades foram intencionalmente fornecidas para ajudar os leitores a entender as regras semânticas definidas.

Durante a concepção das regras semânticas foram utilizadas informações sobre as combinações possíveis entre as culturas consideradas como características fundamentais para consórcio de avaliação. Mais especificamente as seguintes propriedades: *Deep_root*, *Planting_season*, *Culture_cycle* e *has_Companion*.

Dois valores foram usados para representar características do sistema radicular. Caso a cultura tenha um sistema radicular profundo, então a propriedade *Deep_root* é instanciada com o valor "Sim", caso contrário o valor é instanciado com o valor "Não".

Em consórcio sustentável, recomenda-se plantar sistemas de raízes de culturas diferentes, uma vez que irão explorar as diferentes camadas do perfil do

solo e os diferentes nutrientes, promovendo diversos efeitos sobre ele, devido à produção de diferentes tipos de ácidos orgânicos, e melhor efeito em atributos biológicos, químicos e físicos (MEDEIROS e CALEGARI, 2007). Essa característica está relacionada a questões ambientais.

Para a época de plantio (*Planting_season*) os valores foram instanciados para os meses do ano, em que cada cultura apresenta a melhor época para o cultivo. Esta característica é relevante para a dimensão econômica e social, uma vez que as culturas têm uma boa relação no consórcio. Este item deve ter meses para o plantio semelhante, caso contrário o agricultor deve esperar certo período de tempo para plantar uma segunda safra, ao invés de causar impacto econômico.

Em relação aos aspectos sociais, haverá menor renda com o plantio de culturas em diferentes épocas do ano, afetando a economia local, e em consequência disso o dinheiro não vai circular na comunidade, a colheita não vai estar disponível para o consumidor e o agricultor terá apenas um tipo de cultura colhida na época, afetando a alimentação da sua família.

Outra característica relevante para a agricultura sustentável é o ciclo da cultura, que está relacionada com a propriedade *Culture_cycle*. Neste ponto, observou-se que as culturas devem ter ciclos diferentes. Devido a isso, cada vez que um consórcio de cultura é colhido outra nova cultura de família diferente vai substituir a atual.

Embora a cultura vizinha ainda esteja em curso, quando o dia da colheita chegar uma nova cultura de família diferente deve ser plantada no mesmo local, através da realização de um sistema de rotação de culturas (SOUZA e FIALHO, 2003). Como consequência, o agricultor não depende de uma única cultura. Resumindo, no uso desse tipo de cultivo o agricultor vai produzir regularmente porque as suas culturas são colhidas em momentos diferentes, trazendo melhor retorno financeiro e diversificação da produção.

Finalmente, a propriedade *has_Companion* representa diferentes combinações de consórcio. Essas características foram extraídas da literatura, mais especificamente a partir de estudos que destacam as características para realizar uma boa relação entre as culturas (SOUZA e FIALHO, 2003). A avaliação de nível de sustentabilidade de cada consórcio recomendada foi determinada de acordo com o impacto em cada uma das três dimensões da sustentabilidade (BEVILACQUA, 2006).

4.3 REGRAS SEMÂNTICAS PARA RECOMENDAÇÃO DE CONSÓRCIO DE CULTURAS

Para a realização automatizada do raciocínio entre as culturas para recomendação proposta foram utilizadas regras em SWRL (*Semantic Web Rule Language*) (SWRL, 2004). Essas regras foram criadas usando características mencionadas anteriormente (*has_Companion*, *Deep_root*, *Culture_cycle* e *Planting_season*). Como explicado inicialmente, foi considerado o consórcio entre duas culturas e quatro características relevantes para o consórcio de culturas para as quais foram definidas oito possíveis regras.

De acordo com a relação entre duas culturas, cada propriedade relacionada a elas determina o consequente impacto derivado do experimento do consórcio. Abstratamente, as regras criadas representam impactos que podem acontecer nas dimensões da sustentabilidade, ou seja, no ambiental, econômico e social para diferentes tipos de combinações entre duas culturas. É importante observar que estas regras semânticas, bem como os conceitos da ontologia, foram validadas pela especialista do domínio, mais especificamente pela autora da tese de doutorado usada neste trabalho.

Na primeira combinação, a regra é definida da seguinte forma: as duas culturas devem ser companheiras, ter sistemas radiculares diferentes e ciclos diferentes. Baseado nessas informações, o tipo de consórcio de cultura que seria sustentável foi decidido por atender às três dimensões da sustentabilidade.

A segunda combinação foi determinada da seguinte maneira: as culturas devem ser companheiras, ter sistemas radiculares diferentes, possuir ciclos iguais e épocas de plantio similares. Assim, as dimensões econômicas e sociais serão afetadas como explicado anteriormente.

Na terceira combinação, as culturas devem ser companheiras, ter as raízes diferentes, os ciclos das culturas diferentes e a época de plantio das culturas não devem ser iguais. Aspectos econômicos e sociais são implicitamente considerados.

Na quarta regra, os sistemas radiculares das culturas são iguais, a época de plantio está definida para diferentes meses e os ciclos das culturas para o cultivo devem ser semelhantes. Assim, as dimensões econômicas e sociais serão afetadas

por essas duas características, tendo um peso maior do que as duas combinações anteriores, porque neste momento a época e o ciclo do cultivo não estão viáveis em face do crescimento mais sustentável.

A quinta combinação possível para o consórcio é definido da seguinte maneira: as culturas devem ser companheiras, ter sistemas radiculares iguais, os ciclos das culturas são diferentes e a época de plantio deve ser igual para as duas culturas. Desta forma, o ponto negativo vai cair para a dimensão ambiental, porque para este tipo de combinação o solo será mais danificado do que as culturas plantadas com diferentes sistemas radiculares.

Na sexta regra só a característica do ciclo da cultura é alterado, caracterizando-se como ciclos iguais para as duas culturas. Nessa combinação, o ponto negativo a ser considerado é o relacionado com o aspecto ambiental, porque o sistema radicular é o mesmo e nos aspectos econômicos e sociais os ciclos das culturas são os mesmos.

Na sétima combinação do consórcio de culturas as combinações das características são iguais à quinta combinação, alterando apenas a época de plantio das culturas, mudando para diferentes tempos de plantio das culturas. A desvantagem vai cair novamente para os mesmos pontos da combinação da sexta combinação.

Finalmente, na oitava combinação possível para realizar o consórcio entre duas culturas as características são as mesmas da combinação anterior, apenas o ciclo das culturas vão ser diferentes. Desta vez será igual para ambas às culturas. Essa combinação será caracterizada como a menos sustentável entre as combinações possíveis, pois ela vai afetar negativamente o meio ambiente, as épocas de plantio e os ciclos das culturas afetarão os aspectos particularmente dos itens econômicos e sociais, tornando-a menos possível de ser feito no projeto de consórcio de culturas sustentáveis.

Os conceitos e regras definidas e discutidas representam apenas a semântica envolvida na análise integrada de dimensões da sustentabilidade. As próximas seções detalham como eles podem ser utilizados por um sistema de recomendação baseada em serviços *web*.

5. PLATAFORMA WEB SEMÂNTICA E RESULTADOS

Os experimentos agrícolas envolvem informações de diferentes disciplinas. Para os agricultores que não têm conhecimento profundo sobre eles pode ser difícil ter sucesso em encontrar alternativas sustentáveis para o plantio. Ao considerar a magnitude e as particularidades de cada região brasileira, o suporte computacional para recomendação se tornou uma exigência. Isso é precisamente o que trata este projeto. Mais especificamente, pretende-se criar uma base de conhecimento sobre as técnicas de agricultura sustentável e uma aplicação *Web* para acessá-la.

Devido à alta granularidade e heterogeneidade de dados resultantes de projetos de agricultura, mesmo se considerados apenas os relacionados com a técnica de consórcio, é necessário fornecer mecanismos para integração de dados de diferentes fontes de armazenamento sobre culturas e os consórcios realizados, servindo como base para a apresentação e recomendação na aplicação. Para tanto, é utilizado a plataforma ARIDUS, que é uma plataforma orientada a serviços web para integração semântica de dados armazenados em diferentes fontes, de forma a possibilitar a análise integrada de informações em diferentes domínios do conhecimento. Uma visão global de uma plataforma que contém quatro camadas que se integram pode ser vista na Figura 7. Cada camada fornece serviços para os outros.

A plataforma, nomeada como ARIDUS visa fornecer uma maneira uniforme e inteligente para acessar os dados resultantes da pesquisa e projetos práticos desenvolvidos no contexto do semiárido brasileiro. A ideia é concentrar conhecimento sobre a região, incluindo, mas não limitado a técnicas sustentáveis, fornecendo suporte para investigadores, tomadores de decisões, agricultores e público em geral. Inicialmente pensado para incluir projetos desenvolvidos por pesquisadores de duas universidades públicas, UERN⁸ e UFERSA⁹, fisicamente presentes e proprietários de informações valiosas sobre a região do semiárido.

⁸ <http://www.uern.br>

⁹ <http://www.ufersa.edu.br>

Através da plataforma ARIDUS é possível tornar a informação pública, normalmente encontrada em trabalhos científicos. A plataforma pode ser estendida para receber contribuições de outras instituições.

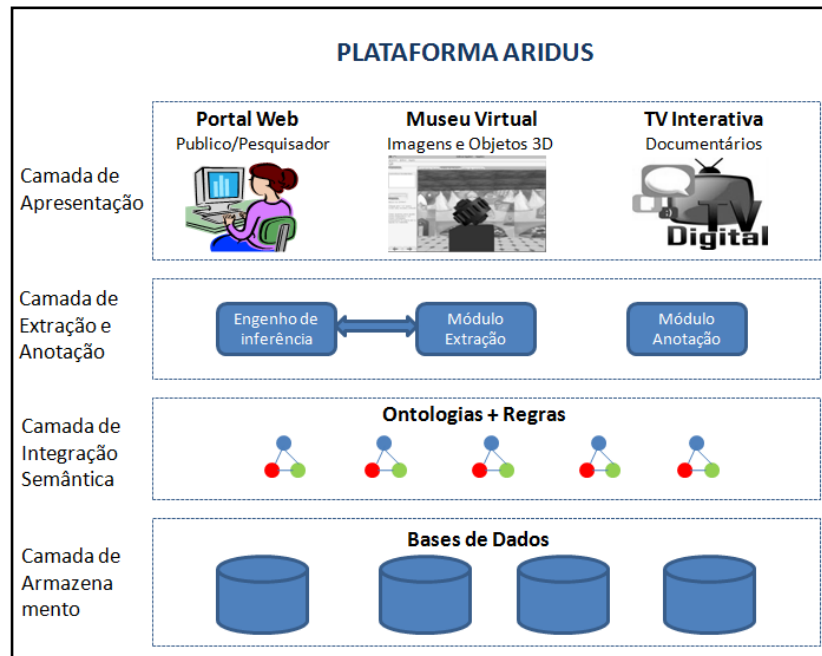


Figura 7 - Plataforma ARIDUS.

A plataforma ARIDUS é constituída por quatro camadas, as quais apresentam as seguintes funcionalidades:

- Camada de Armazenamento – Nesta camada estão situados serviços para gerenciar as diferentes bases de dados e provê acesso uniforme a esses dados;
- Camada de Integração Semântica – Esta camada apresenta serviços para gerência e coordenação de ontologias, bem como, a gerência de regras e equivalências resultantes das coordenações realizadas;
- Camada de Extração e Anotação – Essa camada possui serviços de anotação e extração semântica de conteúdos e também um serviço específico de consultas para a recuperação de dados nas diversas bases registradas na plataforma ARIDUS;
- Camada de Apresentação – Nesta camada estão as aplicações que utilizam os serviços das camadas anteriores para apresentar as informações armazenadas nas bases aos usuários.

Na camada de apresentação, acessibilidade e personalização há funcionalidades também planejadas, mas neste momento a *interface* foi desenvolvida apenas para fins de validação. A informação recolhida e representada foi estendida através da literatura especializada com a ajuda de especialistas do domínio, mas a intenção é também pedir aos agricultores envolvidos em muitos desses projetos para validar as informações apresentadas. A IntercropApp utiliza serviços da plataforma ARIDUS para recuperar dados relacionados à ontologia (OntoIntercropping.owl) e apresentar informações sobre as culturas. As funcionalidades da aplicação listadas abaixo serão ofertadas como serviços:

- Listar Culturas – Fornece todas as culturas disponíveis;
- Informação da Cultura – Apresenta informações sobre a cultura;
- Consorciar cultura1 com cultura2 – Consorciar duas culturas;
- Listar Companheira da Cultura – Lista as culturas companheiras da cultura;
- Rotacionar cultura1 com cultura2 – Faz a rotação entre duas culturas.

5.1 FERRAMENTAS UTILIZADAS

Para o desenvolvimento da aplicação IntercropApp foram utilizadas várias bibliotecas, *framework* e ferramentas que sejam projetos *Open Source*. Nas subseções a seguir serão apresentadas informações referentes às ferramentas utilizadas para o desenvolvimento desse projeto.

5.1.1 Eclipse

O Eclipse é um IDE (*Integrated Development Enviroment*) desenvolvido em Java, que segue o modelo *open source* de desenvolvimento de software, nos quais

os projetos estão focados em construir uma plataforma aberta de desenvolvimento composta por ferramentas para construção, implantação e gestão de *software* em todo o ciclo de vida (ECLIPSE, 2012).

O projeto Eclipse foi originalmente criado pela IBM¹⁰ em novembro de 2001 e apoiado por um consórcio de fornecedores de *software* (ECLIPSE, 2012). O projeto é um IDE para desenvolvimento de aplicações Java, mas que também pode ser utilizado para o desenvolvimento de aplicações utilizando outras linguagens como PHP¹¹, C++¹², entre outros (ECLIPSE, 2012).

Essa IDE foi utilizado para desenvolver a programação em Java e para as páginas da *Web* foi usado a linguagem HTML (*HyperText Markup Language*). Para o desenvolvimento da aplicação foi utilizado o Eclipse Java EE IDE *for Web Developers*, versão Juno Service Release 1.

5.1.2 Play Framework

O *Play* é um *framework* de aplicação *web open source*, escrito em Java, que segue o padrão de arquitetura *Model-view-controller* (MVC). Ele tem como objetivo otimizar a produtividade do desenvolvedor, utilizando convenção sobre configuração, recarga de código e exibição de erros no navegador (SCHMIDT, 2010).

O *Play Framework* é fortemente inspirado por Ruby on Rails¹³ e Django¹⁴ e é semelhante a essas famílias de *framework*. Ele tem como objetivo principal facilitar o desenvolvimento em aplicações *web* e ao mesmo tempo se manter alinhado ao Java, bem como foi escrito puramente em Java e mantém as bibliotecas e ferramentas comuns.

O *Play Framework* compila os códigos-fontes Java diretamente do *Java Virtual Machine* (JVM) sem a necessidade de reiniciar o servidor. Ele possui um mecanismo eficiente de *templates* com a linguagem Groovy¹⁵, que tem uma sintaxe

¹⁰ <http://www.ibm.com/us/en/>

¹¹ <http://php.net/>

¹² <http://www.cplusplus.com/>

¹³ <http://rubyonrails.com.br/>

¹⁴ <http://www.djangobrasil.org/>

¹⁵ <http://groovy.codehaus.org/>

muito consistente ao Java, além de fornecer JPA como API (*Application Programming Interface*) de mapeamento objeto-relacional, em que é utilizada na persistência de dados (PLAY, 2010). A versão utilizada nesse projeto foi o *Play Framework Version 1.2.3*.

5.1.3 SPARQL

O SPARQL (*Simple Protocol And RDF Query Language*) é uma linguagem proposta pela W3C para consultar dados RDF (*Resource Description Framework*) publicados na web. O SPARQL é definido como uma linguagem de consulta à RDF do tipo SQL-Like, ou seja, são similares à linguagem SQL (*Structured Query Language*), sendo este um fator importante por não necessitar de domínio total de uma nova linguagem (PASSOS, 2010). Essa linguagem se tornou padrão e recomendação da W3C para consulta à RDF em 15 de janeiro de 2008 (PASSOS, 2010). É uma linguagem totalmente orientada a dados que recupera informações, fazendo com que seja possível a combinação de arquivos de diferentes fontes.

A linguagem SPARQL é baseada na mesma estrutura de construção de arquivos em RDF e é construída sobre triplas, ou seja, *Subject*, *Predicate* e *Object*. Algumas cláusulas da linguagem SPARQL são:

- FROM;
- ORDER BY;
- SELECT [DISTINCT];
- UNION;
- WHERE.

Nas consultas criadas em SPARQL, as variáveis devem ser identificadas com os caracteres “?” e/ou “\$”. Na aplicação desenvolvida, o SPARQL foi utilizado para realizar as consultas na ontologia para poder extrair informações referentes às solicitações que o usuário irá realizar através da aplicação *web*.

5.2 INTERCROPAPP

A aplicação desenvolvida tem como objetivo auxiliar na tomada de decisões sobre qual método utilizar na hora de escolher quais culturas são mais sustentáveis quando plantadas em consórcio, e que também apresenta o quanto de produção é esperada por cada uma dessas culturas, o próximo cultivo de cada planta e a recomendação da combinação entre as culturas no próximo cultivo.

A Figura 8 apresenta o diagrama que representa o funcionamento da aplicação. O usuário acessa a aplicação e através da escolha é realizada uma consulta utilizando a linguagem SPARQL. Essa consulta é feita em cima da ontologia desenvolvida, que consiste também das regras de inferência sobre as instâncias criadas. Após isso, os resultados da consulta são enviados para a aplicação e esse resultado é apresentado para o usuário.

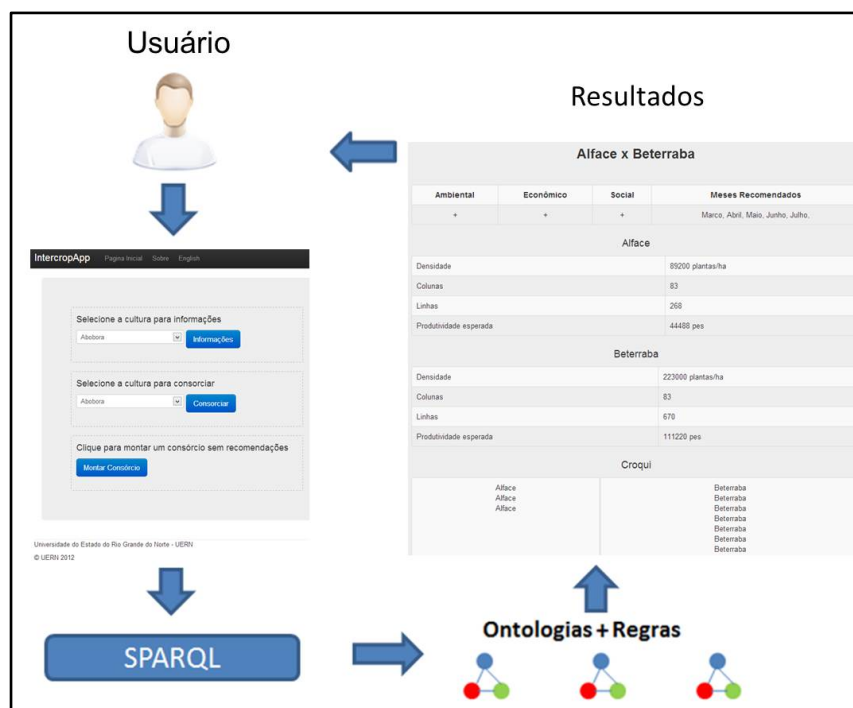


Figura 8 - Diagrama da aplicação.

A aplicação foi desenvolvida para executar em computadores, mas é possível acessar através de celulares ou *tablets*, como mostrada nas Figuras 9 e 10, respectivamente, pois a aplicação é executada perfeitamente se for acessada através dessas outras plataformas.

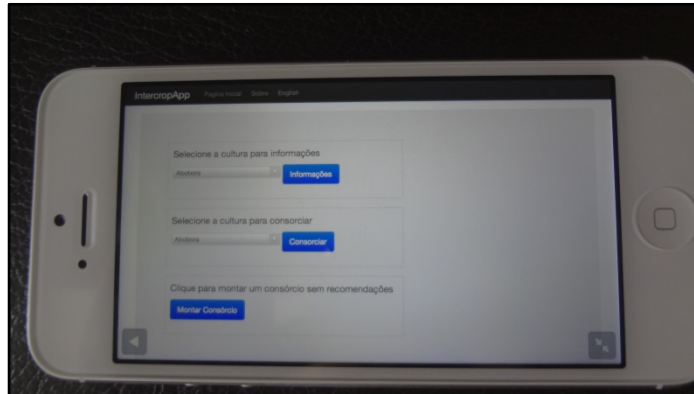


Figura 9 - Aplicação rodando em celular.

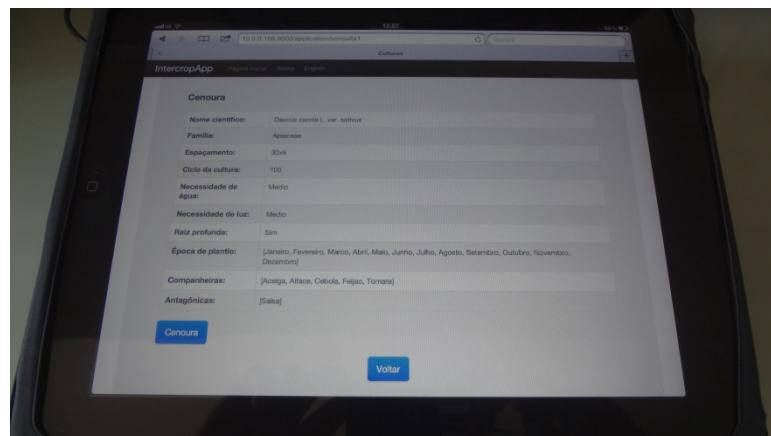


Figura 10 - Aplicação rodando em tablet.

Outro ponto a ser citado na aplicação é a possível escolha entre dois idiomas, português e inglês. A Figura 11 mostra a opção para alterar o idioma da aplicação e a Figura 12 mostra o resultado após o usuário escolher a opção “English”.

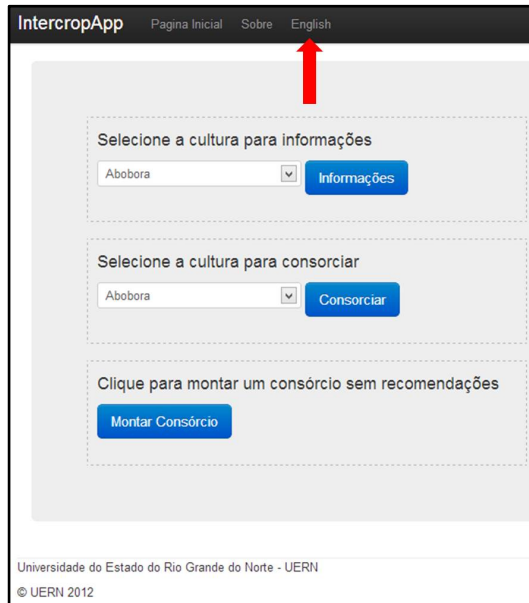


Figura 11 - Opção para alterar o idioma da aplicação.

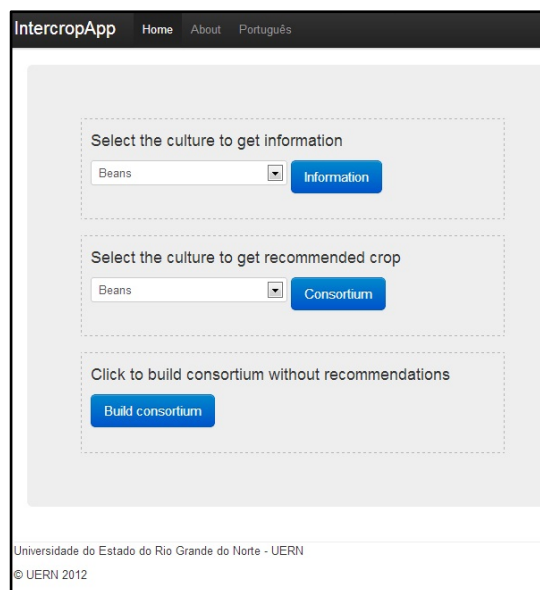


Figura 12 - Aplicação com o idioma alterado para inglês.

5.3 RESULTADOS

Na sequência são apresentadas algumas figuras que ilustram as funcionalidades e os resultados da aplicação. A Figura 13 apresenta a tela inicial, onde dois combo-box e três botões fornecem ao usuário diferentes possibilidades. O

primeiro e o segundo combo-box são compostos pelas culturas disponíveis na ontologia, sendo o primeiro usado para selecionar a cultura através do botão “Informações” para obter informações sobre a cultura selecionada e no segundo o usuário irá selecionar a cultura e clicar no botão “Consortiar” para mostrar culturas específicas para o consórcio com essa cultura selecionada. O último botão, chamado “Montar Consórcio”, ativa o mecanismo de consórcio sem recomendações, no qual o usuário poderá montar o consórcio livremente sem as recomendações e com isso poderá observar o comportamento das duas culturas quando plantadas em consórcio.

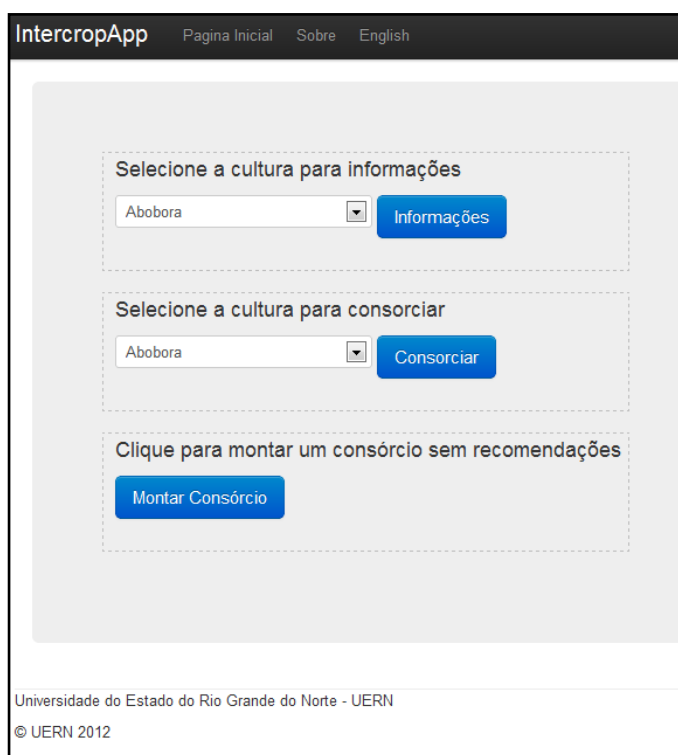


Figura 13 - Tela inicial da aplicação.

Após selecionar a cultura na primeira combo-box, o usuário recebe informações em outra tela, como pode ser visto pela Figura 14, incluindo informação científica (nome e família), informações agrícolas relevantes, como o espaçamento, ciclo da cultura, necessidade de água e luz, e informações específicas para o cultivo consorciado, tais como a profundidade da raiz, época de plantio, plantas companheiras e antagonicas.

Logo abaixo das informações irá aparecer um botão com o nome da cultura escolhida. Ao pressionar, serão apresentadas em outra tela as culturas que são companheiras e estão aptas para o consórcio com a cultura escolhida. Pressionando o botão “Voltar” o usuário volta para a primeira tela (Figura 13).

Depois de informar a cultura na segunda combo-box e clicar no botão “Consorciar” o usuário verá as culturas companheiras que são adequadas para experimentos de consórcio, como pode ser visto na Figura 15. O último botão “Montar Consórcio” é uma opção para o usuário construir manualmente o experimento do consórcio. Essa opção é bem parecida com a anterior, mudando apenas que o usuário pode escolher as duas culturas livremente para obter informações entre elas. Essa opção está ilustrada na Figura 16.

IntercropApp Pagina Inicial Sobre English

Alface

Nome científico:	Lactuca sativa L.
Família:	Asteraceae
Espaçamento:	30x25
Ciclo da cultura:	60
Necessidade de água:	Alto
Necessidade de luz:	Medio
Raiz profunda:	Nao
Época de plantio:	[Marco, Abril, Maio, Junho, Julho]
Companheiras:	[Beterraba, Cebola, Cenoura, Couve, Pepino, Repolho, Rucula, Tomate]
Antagônicas:	[Girassol, Salsa]

Alface

Voltar

Figura 14 - Informações da cultura.

Figura 15 – Criar consórcio com recomendações.

Figura 16 - Criar consórcio sem recomendações.

A recomendação de consórcio deve considerar características importantes, não apenas sobre cada cultura envolvida, mas também sobre o período mais adequado para o plantio.

A Figura 17 mostra a *interface* que apresenta as combinações entre estas culturas selecionadas. A *interface* apresenta informações de natureza diferente. Na parte superior, abaixo do nome das culturas, há uma barra em que o impacto de cada dimensão de sustentabilidade é apresentado. Por exemplo, o consórcio entre feijão e pepino afetam positivamente (+) as dimensões sociais e econômicas, mas afetam negativamente (-) a dimensão ambiental.

Para entender qual característica está causando impacto negativo basta o usuário mover o mouse sobre "-" e esta informação será apresentada. Neste exemplo, o feijão e o pepino apresentam semelhanças nas dimensões de sua raiz. Este problema foi discutido anteriormente com Capítulo 2.

Além disso, na mesma barra são indicados os melhores meses para iniciar o cultivo dessas culturas, por exclusão dos meses em que as duas culturas não têm em comum. Por exemplo, os meses de feijão são: janeiro, fevereiro, maio, junho, agosto e setembro. Para pepino os melhores meses são: Janeiro, Fevereiro, Março, Abril, Maio, Junho, Julho, Agosto, Setembro, Outubro, Novembro, Dezembro. Neste caso, apenas os meses comuns são apresentados (janeiro, fevereiro, maio, junho, agosto e setembro).

As informações sobre cada cultura relacionada à densidade, colunas, linhas e produtividade esperada devem ser considerados e também são apresentadas. Por exemplo, o máximo de feijões que podem ser plantados em cultivo solteiro em um hectare (ha) de terra é igual a 67000. Se usado em um experimento consorciado ele pode ser distribuído em 33 colunas e 335 linhas. Para o pepino a densidade é significativamente menor, igual a 13400/ha plantada em cultivo solteiro. Para distribuição em 33 colunas e 134 linhas a produção esperada é 8844 plantas.

Além das informações individuais sobre cada cultura, a aplicação também informa como as culturas devem ser distribuídas quando combinadas numa experiência de intercalagem, de forma a obter a melhor produtividade, mas que respeite o ambiente. De acordo com esta distribuição, nomeada como croqui, em 1m² podem ser plantados 4 feijões e 2 plantas de pepino.

Outro resultado a ser visto na mesma tela está relacionado com a rotação de culturas. Este mecanismo é essencial para preservar o meio ambiente. Informações sobre rotação de culturas também foram obtidas a partir da ontologia, verificando se as culturas pertencem a famílias diferentes, se há sistema radicular diferente e se são antagônicas das culturas vizinhas. Para o exemplo considerado e ilustrado pela Figura 17, as culturas recomendadas para a rotação de culturas para o feijão são beterraba, cenoura, berinjela e girassol, e para pepino são beterraba, cenoura, berinjela, girassol e tomate. Informações sobre a rotação de culturas foram obtidas em (SOUZA e FIALHO, 2003).

O último resultado apresentado pelo aplicativo são as "Possíveis combinações dos cultivos recomendados". Esta combinação foi feita usando culturas

exibidas como "Próximo cultivo recomendado" e considerando a propriedade de *has_companion*. O resultado para combinação de Feijão x Pepino é Cenoura x Tomate. Estas culturas são apresentadas como combinações possíveis para o próximo cultivo de maneira sustentável. Seguindo essas recomendações, o agricultor pode visualizar aspectos importantes e estabelecer um plano de médio prazo. Apesar da baixa previsibilidade de condições climáticas é razoável pensar que os fatores externos podem ser mais bem considerados durante a fase de planejamento.

Finalmente, é importante notar que através destes resultados é possível obter um projeto de agricultura mais sustentável, não apenas sob a ótica ambiental, mas também combinar questões sociais e econômicas. Isso é precisamente o que a prática sustentável utiliza na base para o desenvolvimento sustentável. Abaixo estão descritos os resultados referentes à combinação entre as culturas Feijão e Pepino, escolhido para exemplificar como elas vão se comportar diante do cruzamento de suas informações, conforme observadas na Figura 17.

IntercropApp [Pagina Inicial](#) [Sobre](#) [English](#)

Feijao x Pepino

Ambiental	Econômico	Social	Meses Recomendados
-	+	+	Janeiro, Fevereiro, Maio, Junho, Agosto, Setembro,

Raízes iguais

Feijao

Densidade	67000 plantas/ha
Colunas	33
Linhas	335
Produtividade esperada	22110 pes

Pepino

Densidade	13400 plantas/ha
Colunas	33
Linhas	134
Produtividade esperada	8844 pes

Croqui

Feijao

Feijao

Feijao

Feijao

Pepino

Pepino

Próximo cultivo recomendado

Rotação para Feijao	[Berinjela, Beterraba, Cenoura, Girassol]
Rotação para Pepino	[Berinjela, Beterraba, Cenoura, Girassol, Tomate]

Possíveis combinações dos cultivos recomendados

[Cenoura X Tomate]

[Voltar](#)

Figura 17 - Resultados da combinação entre Feijão x Pepino.

Outro resultado apresentado na aplicação é quando os meses das culturas não são correspondentes, ou seja, as duas culturas não possuem meses em comum na sua época de plantio. Com isso será apresentada a informação “Meses Incompatíveis” na aba dos “Meses recomendados”, como mostra a Figura 18. Esse

caso pode ser encontrado quando são escolhidas as culturas Rúcula X Milho para o consórcio.

IntercropApp			
Pagina Inicial Sobre English			
Rucula x Milho			
Ambiental	Econômico	Social	Meses Recomendados
-	-	-	Meses incompatíveis,

Figura 18 - Informações entre Rúcula x Milho.

Finalmente, a aplicação apresentará também se as culturas são antagônicas. Isso pode ocorrer quando o usuário escolher a opção da tela inicial (Figura 13) e escolher a opção “Montar Consórcio”, onde o usuário poderá escolher livremente as duas culturas sem recomendações. Ocorrendo de o usuário escolher culturas antagônicas a aplicação irá mostrar a informação “Culturas Antagônicas”, como mostra a Figura 19. Este exemplo pode ser visto quando é escolhida a combinação entre Feijão x Alho, onde é observado que essa combinação irá afetar negativamente as três dimensões, pois culturas antagônicas não vão se desenvolver bem e com isso irá prejudicar o seu crescimento, e consequentemente sua produção.

IntercropApp			
Pagina Inicial Sobre English			
Feijao x Alho (CULTURAS ANTAGONICAS)			
Ambiental	Econômico	Social	Meses Recomendados
-	-	-	Maio,
Culturas Antagonicas			

Figura 19 - Informações entre Feijão x Alho.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Esta dissertação apresenta os resultados de um projeto relacionado com a representação do conhecimento de técnicas sustentáveis. Como parte do projeto, foi priorizado o contexto do semiárido brasileiro, considerado especialmente suscetível aos efeitos do aquecimento global.

Este trabalho exemplifica como os métodos de computação podem ajudar sistemas complexos fornecendo soluções práticas e simples. O paradigma utilizado fornece extensibilidade e interoperabilidade para a aplicação e, por sua vez, as tecnologias semânticas fornecem propriedade incremental para o modelo de representação do conhecimento.

A sustentabilidade tem sido considerada uma questão crítica relacionada a parar ou atrasar os efeitos da mudança climática. Como um sistema complexo, o desenvolvimento sustentável representa o equilíbrio entre a preservação ambiental e o bem estar humano.

Enquanto contribuição da Ciência da Computação para superar este desafio, este trabalho apresentou um modelo de anotação semântica instanciado para o domínio da agricultura. A aparente simplicidade da aplicação esconde um mecanismo inteligente de forma automática que lhe dá suporte. O conhecimento tácito e formal sobre técnicas agrícolas sustentáveis foi dirigido e representado pelos conceitos de ontologias e regras semânticas.

Como resultado prático, um mecanismo de recomendação indica combinações de culturas que ajudam os agricultores, respeitando os princípios de sustentabilidade. Embora inicialmente limitado a este contexto específico, a plataforma proposta e o modelo associado pode ser estendido, incluindo novos serviços e ontologias. Isso está previsto como um trabalho futuro.

É interessante notar que a metodologia utilizada, qual seja extrair informações de um estudo de caso (tese de doutoramento) e representá-la como conceitos ontológicos validados por especialistas de domínio, de fato produziu um método genérico que pode ser reaplicado em diferentes projetos. Este método pode beneficiar o enriquecimento de base de conhecimento, incluindo novos métodos sustentáveis.

Outra possibilidade de trabalho futuro consiste em comparar diferentes projetos sustentáveis para poder observar qual dos projetos pode ser considerado mais sustentável combinando essas técnicas de agricultura sustentável.

Os resultados obtidos nesse trabalho resultaram em um artigo intitulado *A Pragmatic Approach for Sustainable Development Based on Semantic Web Services* (PEREIRA; DANTAS; RIBEIRO, 2012), aceito para a publicação na 14^a *International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services* (iiWAS2012¹⁶).

¹⁶ <http://www.iivas.org/conferences/iivas2012/>

REFERÊNCIAS

ALESSO, Peter; SMITH, Craig. **Developing Semantic Web Services**. AK Peters. 2004.

ALTIERI, M.; YURJEVIC, A., La agroecologia y el desarrollo rural sostenible en América Latina. **Agroecologia Y Desarrollo**, 1991, v.1, p. 25-36.

ALTIERI, M. A. Agroecology foundations of alternative agriculture in California. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 39, n. 12, p. 23-53, 1992.

ALKAN OLSSON, J.; ANDERSEN, E.; BEZLEPKINA, I.; BROUWER, F.; DONATELLI, M.; EWERT, F.; FLICHMAN, G.; OLSSON L.; HECKELEI, T.; RIZZOLI A., T.; VAN DER WAL, T.; VAN INTTERSUM, M. K.; WIEN, J.E.; WOLF, J. **Integrated assessment of agricultural systems—a component-based framework for the European Union (SEAMLESS)**. *Agric. Syst.*, 96, pp. 150–165, 2008.

American Public Health Association, “**Toward a Healthy, Sustainable Food System**”, 2007. Disponível em:
<<http://www.apha.org/advocacy/policy/policysearch/default.htm?id=1361>>.

AVRAHAM, S.; TUNG, C.; LLIC, K.; JAISWAL, P.; KELLOGG, E. A.; MCCOUCH, S.; PUJAR, A.; REISER, L.; RHEE, S. Y.; SACHS, M. M.; SCHAEFFER, M.; STEIN, L.; STEVENS, P.; VINCENT, L.; ZAPARA, F.; WARE, D. **The Plant Ontology Database**: a community resource for plant structure and developmental stages controlled vocabulary and annotations. *Nucleic Acids*, Vol. 36, 449 – 454, 2008. DOI= <http://10.1093/nar/gkm908>.

BARBOSA, G. S. **O desafio do desenvolvimento sustentável**. Revista Visões 4ª Edição, Nº4, Volume 1, 2008.

BARROS JÚNIOR, A. P; BEZERRA NETO, F.; NEGREIROS, M. Z.; OLIVEIRA, E. Q.; SILVEIRA, L. M.; CAMARA, M. J. T. Desempenho agrônomo do bicultivo da alface em sistemas consorciados com cenoura em faixa sob diferentes densidades populacionais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n 3, p 712 – 717, jul-set 2005.

BANSAL, N.; MALIK, S. K. **A Framework for Agriculture Ontology Development in Semantic Web**. *Communication Systems and Network Technologies (CSNT)*, 2011 International Conference on, vol., no., pp. 283-286, 3-5 June 2011

BEVILACQUA, H. E. C. R. **Rotação e Consorciação de culturas, Alelopatia**. São Paulo, 2011.

BERNERS-LEE, T.; HENDLER, J.; LASSILA, O. **The Semantic Web**. Scientific American. 2001.

BEVILACQUA, H. E. C. R.; MARTINS, A. L. C.; SHIRAKI, J. N. Horta: Cultivo de hortaliças. Prefeitura do Município de São Paulo. Setembro, 2006.

BEZERRA NETO, F.; BARROS JÚNIOR, A. P.; NEGREIROS, M. Z.; OLIVEIRA, E. Q.; SILVEIRA, L. M.; CAMARA, M. J. T. Associação de densidades populacionais de cenoura e alface no desempenho agrônomo da cenoura em cultivo consorciado em faixa. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 233-237, abr-jun 2005.

CAETANO, L. C. S.; FERREIRA, J. M.; ARAÚJO, M. L. de. **Produtividade de cenoura e alface em sistemas de consorciação**. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 17, n. 2, p. 143-146, julho de 1999.

CAPORAL, F. R., COSTABEBER, J. A. **Agroecologia e Extensão Rural Contribuições para a Promoção do Desenvolvimento Rural Sustentável**. Brasília, DF: MDA/SAF/DATER-IICA, 2004. 166p.

CMMAD – Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso futuro comum**. 2a ed. Tradução de Our common future. 1a ed. 1988. Rio de Janeiro : Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CANEPA, C. **Cidades Sustentáveis: o município como locus da sustentabilidade**. São Paulo: Editora RCS, 2007.

CEZAR, B. **Ser antagônico: quando o impulso da agressividade pode gerar força interior**. Acesso em: 04 jun 2012. Disponível em: <<http://somostodosum.ig.com.br/conteudo/conteudo.asp?id=06683>>.

COELHO, F. C.; FREITAS, S. de P.; ADELL, J. J. C. **Manejo de plantas daninhas e sistema de consórcio na cultura do quiabeiro: produtividade e qualidade de frutos**. Horticultura Brasileira, Brasília, v.18, p.123-130, julho de 2000.

CUNHA, L. M. S.; OLIVEIRA, D.; OGASAWARA, E.; ANDRADES, S. F.; SILVA, G. Z.; BREFIN, M. L. M. **ONTOEPFS: Na Ontology for Experiments in Digital Soil Mapping**. VII Brazilian Conference of Agroinformatics. Universidade Federal de Viçosa – MG, 2009.

ECLIPSE. **About the Eclipse Foundation**. Disponível em: <<http://www.eclipse.org/org/>>. Acessado em 12 dez 2012.

FONTES, P. C. R. **Olericultura: Teoria e Prática**. Ed. Suprema Gráfica e Editora, 1 edição, 486 p, 2005.

FRANCIS, C. A. Distribution and importance of multiple cropping. In: (Ed. C. A. FRANCIS). **Multiple Cropping**, New York: Mcmillan, 1986. p. 15-19.

GOMEZ-PEREZ, A.; CORCHO, O.; FERNANDEZ-LOPEZ, M. **Ontological Enginerring: with examples from the areas of Knowledge Management, e-Commerce and the Semantic Web**. ISBN: 1852335513. Springer, 1st ed. 415 páginas. 2004.

GOMES-PEREZ, A., **Tutorial on Ontological Engineering**, International Joint Conference on Artificial Intelligence – IJCAI, 1999.

GONÇALVES, S. R. **Consortiação de culturas – técnicas de análises e estudo da distribuição do LER**. 1982. 217f. Dissertação (Mestrado em Estatísticas e Métodos Quantitativos) - Universidade de Brasília (UnB), Brasília, 1982.

IICA/GTZ (Instituto Interamericano de Cooperación para La Agricultura/Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit). **Tecnología y sostenibilidad de la agricultura en la América Latina**: desarrollo de un marco conceptual. San José, Costa Rica: CIDIA, 1992.

JESEN, E. S.; FRAGSTEIN, P.; MONTI, M.; CROZAT, Y.; GOODING, M. **What is intercropping?** European Community. Disponível em: <<http://www.intercrop.dk/General.htm>>. Acesso em: 20 jul. 2012.

JUNIOR, O. **Desenvolvimento Sustentável**. Planeta dos Geógrafos. Disponível em: <<http://planetadosgeografos.blogspot.com.br/2012/01/desenvolvimento-sustentavel.html>>. Acesso em: 09 jul. 2012.

LOPES, M. A. **The Agriculture and the sustainable challenge**. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2007. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/embrapa/imprensa/artigos/2007/artigo.2007-02-14.4893566264>>. 04 ago. 2011.

MILLETT, L. I.; ESTRIN, D. L.; BORNING, A.; CULLER, D.; DIETTERICH, T.; MANKOF, J.; KAMMEN, D. M.; PENG, R.; VOGEL, A. **Computing Research for Sustainability** - Committee on Computing Research for Environmental and Societal Sustainability, Computer Science and Telecommunications Board (National Academy of Science: Washington, DC), 2012. Disponível em: <http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=1341>

MARQUELLI, R. P. **O Desenvolvimento sustentável da Agricultura no Cerrado Brasileiro**. ISEA-FGV / ECOBUSINESS SCHOOL. Brasília - DF, 2003.

MEDEIROS, G. B.; CALEGARI, A. **Sistema de plantio direto com qualidade: A importância do uso de plantas de cobertura em um planejamento estratégico cultural**. Revista Plantio Direto, Passo Fundo, RS, 2007.

MOLISH, H. **Der Einfluss einer Pflanze auf die andere - Allelopathie (The Effect of Plants on Each Other)**. Alemanha, 1937.

National Research Council, **Toward Sustainable Agricultural Systems in the 21st Century**, Washington, D.C.: The National Academies Press, 2010.

NOY, F. N.; MCGUINNESS, D. L. **Ontology development 101: A guide to create your first ontology**, KSL Technical Report, 2001.

OLIVEIRA, E. Q.; BEZERRA NETO, F.; NEGREIROS, M. Z.; BARROS JUNIOR, A. P. **Desempenho agroeconômico do bicultivo de alface em sistema solteiro e**

consorciado com cenoura. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 22, n. 4, p 712-717, out-dez 2004.

OLIVEIRA, E. Q.; BEZERRA NETO, F.; NEGREIROS, M. Z.; BARROS JUNIOR, A. P.; Freitas, k. k. c.; SILVEIRA, L. M.; LIMA, J. S. S. **Produção e valor agroeconômico no consórcio entre cultivares de coentro e de alface.** Horticultura Brasileira, Brasília, v. 23, n. 2, p 285-289, abr-jun 2005.

PASCHOAL, A. **Protege + Ausubel + ITIL:** uma proposta ontológica para compartilhamento de conhecimento na Seção de Suporte Operacional do Tribunal Superior Eleitoral., Brasília: UnB, 2005. f. 128: il. ; 29,5 cm. Monografia, Universidade de Brasília.

PASSOS, M. K. **SPARQL na implementação do quiz Ontomúsica.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Feevale. Novo Hamburgo, 2010.

PEREIRA, D. H. G.; DANTAS, C. F. F.; RIBEIRO, C. M. F. A. **A Pragmatic Approach for Sustainable Development Based on Semantic Web Services.** In: The 14th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services, 2012, Bali, Indonesia. Proceedings of iiWAS2012 - David Taniar, Eric Pardede, Matthias Steinbauer, Ismail Khalil (eds.). New York: ACM, 2012. v. 1. p. 238-246.

PIERRO, B. **Integração de dados favorece sustentabilidade.** 2010. Disponível em: <<http://www.advivo.com.br/materia-artigo/integracao-de-dados-favorece-sustentabilidade>> Acessado em 15 dez 2011.

PINHEIRO, J. M. S. **Web Semântica: Uma rede de conceitos.** Cadernos UniFOA. ed. 09, 2009.

PLAY. **Play Framework overview.** Disponível em: <<http://www.playframework.org/documentation/1.2.3/overview>>. Acesso em 22 dez 2012.

PORTO, V. C. N. **Bicultivo de Alface e Rúcula Consorciadas com Cenoura em Faixas.** 2008. 97 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró. 2008.

POTOCNIK, J. **Sustainable Development.** European Commission, 23 fev. 2012. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/environment/eussd/>>. Acesso: 15 mar. 2012.

REPETTO, R. **World enough and time.** New Haven: Yale University Press, 1986.

RICHARDS, P. **Indigenous agricultural revolution:** ecology and food production in West Africa. Boulder: Westview Press, 1985.

ROUSSEY, C.; SOULIGNAC, V.; CHAMPOMIER, J-C.; ABT, V.; CHANET, J-P. **Ontologies in Agriculture.** International Conference on Agricultural Engineering (AgEng). p. 285 – 289. 2010.

SHOAIB, M.; BASHARAT, A. **Semantic Web based Integrated Agriculture Information Framework**. Second International Conference on Computer Research and Development. 2010.

SILVA, J. F. da; SILVA, N. G. **Controle de plantas daninhas em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) consorciado com outras culturas**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.10, n.118, p. 70 –75, outubro de 1984.

SILVA, A. C. F. **Consortiação de Culturas**. Disponível em <<http://cultivehortaorganica.blogspot.com.br/2011/01/consorciacao-de-culturas.html>>. Acesso em: 17 abr. 2012.

SILVA, A. C. F. **Rotação e Sucessão de culturas**. Cultivo Orgânico de Hortaliças. 3 jan. 2011.

SCHMIDT, S. **Playing with Play Framework for Java**. Disponível em: <<http://codemonkeyism.com/playing-play-framework-java/>>. Acessado em 13 dez 2012.

SOUZA, L. S.; FIALHO, J. F. **Intercropping and crop rotation**. Embrapa, 2003. Disponível em <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_cerrados/Rotacao.htm>. Acesso em: 25 ago. 2011.

SOUZA, P. J. **A horticultura**. Criar e Plantar. Disponível em <<http://www.criareplantar.com.br/horticultura/lerTexto.php?categoria=54&id=697>>. Acesso em: 20 ago. 2012.

STOLLBERG, M.; FEIER, C.; ROMAN, D.; FENSEL, D. **Semantic Web Services – Concepts and Technology**. In N. Ide, D. Cristea, D. Tufis (eds.): Language Technology, Ontologies, and the Semantic Web. Kluwer Publishers, 2006.

SULLIVAN, P. **Applying the principles of sustainable farming**. NCAT Agriculture Specialist, 2003.

SWRL – Semantic Web Rule Language, 2004. Disponível em: <<http://www.w3.org/Submission/SWRL/>>. Acesso em: 13 mar. 2011

USCHOLD, M.; GRÜNINGER, M. **ONTOLOGIES: Principles, Methods and Applications**. Knowledge Engineering Review. Vol. 11; N. 2, 1996.

WILLEY, R. W. **Intercropping – Its importance and research needs**. In: Field Crops Abstracts, Wallingford, v. 32, n. 1-2, p. 1 – 81, jan./feb. 1979.

XML – *Extensible Markup Language*. Disponível em: <<http://www.w3.org/XML>>. Acesso em: 10 dez. 2010.

ZANOL, S. V.; FARIAS, R. M.; MARTINS, C. R.; ROSSOROLLA M. D.; PIVOTO, H. C. **Cultivo de hortaliças companheiras em sistema agroecológico, período**

primavera-verão na situação de Uruguaiana-RS. Resumos do II Congresso Brasileiro de Agroecologia, v.2, n.1, p. 1549 – 1552, fev. 2007.