

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO POLITECNICO DA UFSM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

**POTENCIALIDADES DO USO DE UM SISTEMA
WEBGIS NA PECUÁRIA DE PRECISÃO: ESTUDO DE
CASO EMBRAPA PECUÁRIA SUL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Danilo Serra da Rocha

Santa Maria, RS, Brasil

2014

**POTENCIALIDADES DO USO DE UM SISTEMA WEBGIS NA
PECUÁRIA DE PRECISÃO: ESTUDO DE CASO EMBRAPA
PECUÁRIA SUL**

Danilo Serra da Rocha

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Área de Concentração em Tecnologias em Agricultura de Precisão, do colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão.**

Orientador: Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira

Santa Maria, RS, Brasil

2014

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Rocha, Danilo Serra da
Potencialidades do uso de um sistema WebGIS na
pecuária de precisão: estudo de caso Embrapa pecuária
sul / Danilo Serra da Rocha.-2014.
106 p.; 30cm

Orientador: Rudiney Soares Pereira
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em
Agricultura de Precisão, RS, 2014

1. Agricultura de Precisão 2. WebGIS 3. WebMapping 4.
Open Source I. Pereira, Rudiney Soares II. Título.

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Danilo Serra da Rocha. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: danilo_serra@yahoo.com.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Colégio Politécnico da UFSM
Programa de Pós-Graduação Profissional
em Agricultura de Precisão**

A comissão examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado.

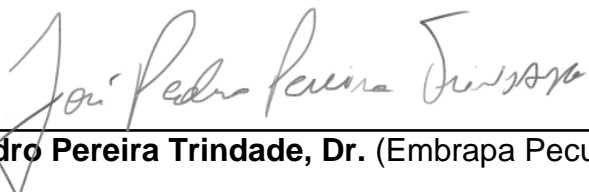
elaborada por
Danilo Serra da Rocha

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agricultura de Precisão

COMISSÃO EXAMINADORA:

Rudiney Soares Pereira, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Ênio Giotto, Dr. (UFSM)



José Pedro Pereira Trindade, Dr. (Embrapa Pecuária Sul)

Santa Maria, 12 de Agosto de 2014.

DEDICATÓRIA

À Deus, o autor da vida.

*À minha esposa Viviane,
pelo amor e cumplicidade
demonstrados em todos os momentos.*

*Aos meus queridos pais Claudio e Sueli
pelo apoio incondicional.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e pelas oportunidades concedidas.

Ao professor Rudiney Soares, pela orientação e por acreditar na proposta de trabalho.

Ao Dr. José Pedro, pelo incentivo e parceria na idealização deste projeto, bem como sua participação na banca examinadora da dissertação, contribuindo para o aprimoramento desta pesquisa.

Ao professor Ênio Giotto pela participação na banca examinadora.

A minha esposa Viviane, pelo carinho, dedicação, cumplicidade e pelo apoio incondicional.

Aos meus pais Cláudio e Sueli, a minha irmã Fernanda, meu cunhado Guilherme, ao meu sobrinho Pedrinho e a todos os familiares que, com muito carinho sempre me apoiaram em minha trajetória.

A Universidade Federal de Santa Maria, ao Colégio Politécnico e a Coordenação e docentes do PPGAP, pelo estímulo à busca do conhecimento, especialmente ao professor Elódio Sebem pelo convívio, e amizade.

A toda a chefia da Embrapa Pecuária Sul pelo apoio na realização deste projeto.

Ao colega Marcelo Pilon pelo companheirismo nas viagens à Santa Maria.

A todos os demais colegas do Mestrado PPGAP, pela amizade e companheirismo.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, e não foram nominalmente citados.

O temor do Senhor é o princípio da sabedoria. ...

(Bíblia Sagrada)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão
Universidade Federal de Santa Maria

POTENCIALIDADES DO USO DE UM SISTEMA WEBGIS NA PECUÁRIA DE PRECISÃO: ESTUDO DE CASO EMBRAPA PECUÁRIA SUL

Autor: Danilo Serra da Rocha
Orientador: Rudiney Soares Pereira
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 12 de Agosto de 2014.

A agricultura e a pecuária de precisão são temas de natureza espacial, por isso utilizam comumente os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) pois estes apresentam-se como excelentes ferramentas de gestão. Os SIG permitem o gerenciamento de dados espaciais e sua interligação com atributos alfanuméricos, a realização de análises complexas e a possibilidade de simular diversos cenários de modo a propiciar uma tomada de decisão eficaz. Os recentes desenvolvimentos em tecnologias da internet têm contribuído para o acesso, publicação, exploração e distribuição da Informação Geográfica. A utilização de SIG distribuídos na internet (WebGIS), utilizando *softwares* livre, pode ser uma solução adequada visto que coloca funcionalidades de SIG ao alcance de usuários, através de um simples *browser*, sem necessidade de grandes investimentos em relação a *softwares* ou mesmo em formação técnica especializada. Assim, na presente dissertação, desenvolveu-se um WebGIS, utilizando *softwares* livres, que disponibiliza informações geográficas e alfanuméricas de camadas que estão sob a responsabilidade da Embrapa Pecuária Sul, permitindo aos usuários cadastrados a visualização e a realização de pesquisas e operações de análise espacial.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão. WebGIS. *WebMapping*. *Open Source*.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Graduate Program in Precision Agriculture
Federal University of Santa Maria

POTENTIAL USE OF A WEBGIS SYSTEM IN PRECISION LIVESTOCK: CASE STUDY EMBRAPA LIVESTOCK SOUTH

Author: Danilo Serra da Rocha
Advisor: Rudiney Soares Pereira
Santa Maria, August 12th, 2014.

Precision farming and livestock are topics of spatial nature, so commonly use the Geographic Information Systems (GIS) because they present themselves like excellent management tools. GIS allow management spatial data and its interconnection with alphanumeric attributes, performing complex analysis and the possibility to simulate various scenarios in order to provide an effective decision-making. Recent developments in internet technologies have contributed to access, publication, distribution and exploitation of geographic information. The use of the internet distributed GIS (WebGIS) using free software, can be a proper solution since GIS places accessible to user functionalities, through a simple browser, without the need for large investments in relation to software or even in specialized technical training . Therefore, this Master's Dissertation developed a WebGIS using free software that provides geographic and alphanumeric information layers that are under the responsibility of Embrapa South Livestock, allowing registered users to view and conducting research and spatial analysis operations.

Keywords: Precision Agriculture. WebGIS. Webmapping. Open Source.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aplicativo de Avaliação da Biodiversidade.	22
Figura 2 – Eixos Paralelos e Meridianos.	26
Figura 3 – Diagrama das Latitudes e Longitudes.	27
Figura 4 – Contagem dos fusos do sistema UTM.	29
Figura 5 – Estrutura Geral de Sistemas de Informação Geográfica.	31
Figura 6 – Arquitetura Dual e Integrada	32
Figura 7 – Estrutura matricial.	35
Figura 8 – Representação Matricial em Diferentes Resoluções Espaciais.	35
Figura 9 – Representações vetoriais em duas dimensões.	36
Figura 10 – Diagrama de funcionamento da linguagem de programação PHP.	43
Figura 11 – Exemplo de dados geográficos no <i>software Quantum SIG</i>	47
Figura 12 – Exemplo da Biblioteca <i>OpenLayers Cesium</i>	49
Figura 13 – Arquitetura de um WebGIS.	52
Figura 14 – Diagrama de interação entre o WebGIS e o usuário final.	54
Figura 15 – Configuração baseada no servidor.	56
Figura 16 – Configurações baseadas no cliente.	58
Figura 17 – Configuração híbrida.	59
Figura 18 – Interface do VegScape (NDVI)	61
Figura 19 – Interface CropScape (Produção Agrícola - EUA)	62
Figura 20 – Interface do SOMABrasil (Embrapa Monitoramento por Satélite)	63
Figura 21 – Fluxograma de desenvolvimento do WebGIS SOMABrasil.	64
Figura 22 – Representação dos processos da interoperabilidade de mapas na Web.	65
Figura 23 – Interface do SPRING (Classificação da Vegetação).	73
Figura 24 – Modelo de Arquivo GeoJSON.	76
Figura 25 – Exemplo de Aplicação HTML e <i>JavaScript</i> utilizando NotePad++.	77
Figura 26 – Estrutura organizacional e funcional do sistema WebGIS.	78
Figura 27 – Parte do código <i>webgis.php</i>	79
Figura 28 – Interface Inicial WebGIS.	81
Figura 29 – Barra de Ferramentas do WebGIS.	81

Figura 30 – Menu Seletor do Tipo de Medição.....	83
Figura 31 – Exemplo de Medida Linear.....	83
Figura 32 – Exemplo de Medida de Área.	84
Figura 33 – Exemplo de uso da Ferramenta de Transparência.	85
Figura 34 – Itens da Janela Principal do WebGIS.....	86
Figura 35 – Painel Lateral do WebGIS.....	87
Figura 36 – Mapa de Classificação da Vegetação.	89
Figura 37 – Mapa Hipsométrico da Embrapa Pecuária Sul.....	91
Figura 38 – Pontos de Produção de Soja e Condutividade Elétrica a 30 cm.	94
Figura 39 – Pontos de Produção de Soja e Condutividade Elétrica a 90 cm.	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre estruturas vetoriais e matriciais.	38
Tabela 2 – Repartição das tarefas numa configuração baseada no servidor..	57
Tabela 3 – Repartição das tarefas numa configuração baseada no cliente. ...	57
Tabela 4 – Ferramentas da Barra Principal.....	82
Tabela 5 – Classes de Vegetação da Embrapa Pecuária Sul.....	89
Tabela 6 – Classes de Declividade.	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	– Duas Dimensões
3D	– Três Dimensões
AP	– Agricultura de Precisão
API	– <i>Application Programming Interface</i>
ASTER	– <i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer</i>
BSD	– <i>Berkeley Software Distribution</i>
DSG	– Diretoria de Serviço Geográfico
EUA	– Estados Unidos da América
FGDC	– <i>Federal Geographic Data Committee</i>
GPS	– <i>Global Positioning System</i>
HTML	– <i>HyperText Markup Language</i>
http	– <i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDE	– Infraestrutura de Dados Espaciais
ISSO	– <i>International Organization for Standardization</i>
IUGG	– <i>International Union of Geodesy and Geophysics</i>
JSON	– <i>JavaScript Object Notation</i>
MDE	– Modelo Digital de Elevação
MDT	– Modelo Digital do Terreno
MODIS	– <i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
NASA	– <i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NASS	– <i>National Agricultural Statistics Service</i>
NDVI	– <i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
OGC	– <i>Open Geospatial Consortium</i>
PC	– <i>Personal Computer</i>
SGBD	– Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SIG	– Sistema de Informação Geográfica
SQL	– <i>Structured Query Language</i>
SRTM	– <i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
USDA	– <i>United States Department of Agriculture</i>

USGS – *United States Geological Survey*
UTM – *Universal Transversal de Mercator*
W3C – *World Wide Web Consortium*
WEB – *Sítios de internet*
WGS84 – *World Geodetic System 1984*
XML – *Extensible Markup Language*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	18
1.2 Estrutura da Dissertação	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1 Agricultura de Precisão	19
2.1.1 Gestão Rural Integrada e AP	20
2.2 Cartografia e Geoprocessamento	22
2.3 Natureza dos Dados Espaciais	24
2.3.1 Sistemas de Coordenadas	25
2.3.1.1 Sistema de Coordenadas Geográficas.....	25
2.3.1.2 Sistema de Coordenadas Planas ou Cartesianas	27
2.4 Sistemas de Informação Geográfica	29
2.4.1 Arquitetura SIG.....	31
2.4.2 Tipos de Dados Espaciais em SIG	33
2.4.3 Estruturas de Representação em SIG.....	34
2.4.3.1 Representação Matricial.....	34
2.4.3.2 Representação Vetorial	36
2.4.4 Softwares Livres e SIGs	38
2.5 Aplicativos WEB	41
2.5.1 Linguagem de Programação PHP, HTML e <i>JavaScript</i>	42
2.5.1.1 Linguagem de Programação PHP	42
2.5.1.2 Linguagem de Programação HTML.....	43
2.5.1.3 Linguagem de Programação <i>JavaScript</i>	44
2.5.2 Banco de Dados.....	45
2.5.2.1 Banco de Dados Relacional	45
2.5.2.2 Sistema Gerenciador de Banco de Dados <i>MySQL</i>	46
2.5.3 Quantum SIG	46
2.5.4 Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING)	48
2.5.5 OpenLayers.....	48
2.5.6 <i>GeoExt</i>	49
2.5.7 Ext JavaScript	50
2.5.8 Virtual <i>Earth</i>	51
2.6 WebGIS.....	51
2.6.1 Estratégias de Implementação de WebGIS.....	55
2.6.2 Soluções WebGIS Relacionadas à Gestão Territorial e AP	60
2.7 Interoperabilidade.....	64
2.7.1 Metadados.....	66

3 MATERIAIS E MÉTODOS	70
3.1 Tecnologia Utilizada na Implementação do WebGIS	70
3.2 Descrição da Área Piloto	72
3.3 Camadas de Informações	73
3.4 Desenvolvimento do WebGIS	76
4 RESULTADOS.....	80
4.1 Funcionalidades e Interface do WebGIS.....	80
4.2 Processamento de Dados de Sensoriamento Remoto e Levantamentos de Campo.....	87
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	96
5.1 Considerações Finais e Discussão sobre as Vantagens e Limitações do WebGIS.....	96
5.2 Desafios e Propostas de Desenvolvimento Futuro.....	97
REFERÊNCIAS.....	100

1 INTRODUÇÃO

A gestão de recursos naturais é, hoje em dia, uma tarefa cada vez mais complexa e exigente. A planificação, a produção, a globalização dos mercados e as regulamentações ambientais, apresentam-se por vezes como interesses em conflito. Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é definido como uma classe especial de informação que mantém não só o registro de eventos, atividades e objetos, mas também do local onde esses eventos, atividades e coisas têm lugar ou existem (LONGLEY et al., 2005). A agricultura, seguindo a mesma tendência, tem se apropriado dessas tecnologias como forma de aperfeiçoar a gestão agropecuária considerando a variabilidade espacial e temporal dos fatores que influenciam a produção como solo, água, clima, nutrientes, entre outros para maximizar o retorno econômico e minimizar os efeitos ao meio ambiente dando origem à denominada agricultura de precisão (AP).

Segundo a comissão formada pela secretaria de agricultura do governo americano (ESTADOS UNIDOS, 1997), a agricultura de precisão é uma estratégia de gestão que utiliza tecnologias da informação para trazer dados de múltiplas fontes e apoiar as decisões relacionadas com a produção vegetal. É importante, porém salientar que o termo agricultura em inglês contempla a criação de animais, porém entende-se que essa área não deve ser dissociada se adotarmos o conceito aceito pela academia internacional (INAMASU et al., 2011).

No Brasil, principalmente por suas características geográficas, climáticas e culturais, o nível de adoção da agricultura de precisão ainda é relativamente baixa sendo assim uma área de estudo em pleno desenvolvimento. No âmbito regional a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) conjuntamente com outras instituições de pesquisa tem conduzido diversas áreas experimentais, promovendo assim novas perspectivas sobre o tema. Dentre as geotecnologias mais empregadas pela AP pode-se considerar a cartografia digital, o sensoriamento remoto, o sistema de posicionamento global (GPS) e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Os SIGs podem ser utilizados como instrumento de fundamental importância no gerenciamento agropecuário por ter a característica de ser um poderoso conjunto de ferramentas para coleta, armazenagem, recuperação e exibição de dados do

mundo real para determinados propósitos (BURROUGH, 1986). O aspecto mais fundamental dos dados tratados em um SIG é a natureza dual da informação: um dado espacial ou dado geográfico possui uma localização expressa como coordenadas de um mapa e atributos descritivos representados num banco de dados convencional (CÂMARA et al., 2004).

Para a agricultura de precisão, o banco de dados de um SIG deve ser constituído por diferentes temas, onde cada tema represente dados espaciais georreferenciados de uma determinada variável como, por exemplo, a hidrografia, a topografia e a classes de solos. Para geração dos temas é necessário o processamento de um grande volume de dados sobre a área a ser trabalhada. Devido ao fato da informação vir de várias fontes, a criação de normas para a padronização de dados é fundamental para a organização da informação. Além da padronização é importante documentar a informação, ou seja, a criação de metadados, isto é, identificar a origem, a escala, o método de obtenção e outros. A importância dos metadados reside no fato de que eles documentam os dados existentes e facilitam o compartilhamento dos mesmos.

Com a popularização da internet e o conseqüente aumento da produção e disponibilização de dados surge atualmente o WebGIS que é uma forma de união entre as ferramentas SIG com a internet criando assim um canal para que uma determinada instituição publique mapas georreferenciados e seus respectivos atributos alfanuméricos.

A demanda e a oferta de dados espaciais crescem continuamente enquanto os custos continuam relativamente altos. A utilização de soluções proprietárias vai desde os sensores acoplados as máquinas até os softwares utilizados para o processamento e visualização dos dados coletados em campo. Baseado nisto e no fato de que a aquisição e principalmente o gerenciamento dos dados é crítica para um projeto, torna-se desejável a adoção de geotecnologias livres e softwares *open source* que, segundo Hexsel (2002), é um software cujo autor o distribui e outorga a todos a liberdade de uso, cópia, alteração e redistribuição de sua obra. Assim as geotecnologias livres e os softwares *open source* apresentam grande potencialidade tanto no gerenciamento dos dados geográficos e descritivos, como na divulgação de dados na internet através de WebGIS desenvolvidos sobre plataformas livres.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste estudo é desenvolver um Sistema de Informação Geográfica e disponibilizá-lo na internet através de um WebGIS. Esta ferramenta visa o gerenciamento integrado dos dados geoespaciais de pesquisa agropecuária de interesse da Embrapa Pecuária Sul.

Os objetivos específicos estabelecidos foram:

- Organizar e compilar as informações espaciais e alfanuméricas disponíveis construindo um banco de dados georreferenciado com a utilização de ferramentas *open source*.
- Avaliar as potencialidades das geotecnologias livres no desenvolvimento de aplicações para Web.

1.2 Estrutura da dissertação

No presente capítulo (capítulo 1) procurou-se contextualizar para o leitor o foco principal deste estudo e descrever o objetivo do mesmo. Este documento possui mais quatro capítulos. O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura sobre o estado da arte e princípios da agricultura de precisão, e segue também apresentando as técnicas de geoprocessamento e os aplicativos utilizados no processamento dos dados e desenvolvimento do WebGIS. O capítulo 3 descreve a escolha das tecnologias usadas na implementação do sistema e a descrição das camadas de informações presentes na área piloto. O capítulo 4 apresenta o resultado do processamento de dados e a interface do WebGIS detalhando suas funcionalidades e resultados alcançados e o capítulo 5 apresenta as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Agricultura de Precisão

A Agricultura de Precisão compreende um conjunto de técnicas e metodologias que visam otimizar o manejo das culturas e a utilização dos insumos agropecuários, proporcionando máxima eficiência econômica. As ferramentas de AP permitem o uso racional dos corretivos, fertilizantes e agrotóxicos garantindo a redução dos impactos ambientais decorrentes da atividade agropecuária (BRASIL, 2011).

Existem relatos de que se trabalha com os conceitos inerentes à AP desde o início do século XX, todavia as primeiras aplicações práticas da AP remetem aos anos 1980, quando na Europa foi gerado o primeiro mapa de produtividade e nos EUA fez-se a primeira adubação com doses variadas. Todavia, sem dúvida, o passo determinante para a sua implementação foi o surgimento do sistema GPS, em torno de 1990. No Brasil, as atividades ainda muito esparsas datam de 1995 com a importação de equipamentos, especialmente colhedoras equipadas com monitores de produtividade (MOLIN, 2011).

Atualmente, em uma nova fase, a agricultura de precisão é compreendida como um tema abrangente, sistêmico, multidisciplinar e por isso não se limita a cultura nem à região. Molin (2003) ratifica que a agricultura de precisão recentemente é, acima de tudo, uma nova forma de gestão ou de gerenciamento da produção agropecuária. É um elenco de tecnologias e procedimentos utilizados para que as lavouras e os sistemas de produção sejam potencializados, tendo como elemento chave o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores nela envolvidos.

Um dos grandes desafios da agricultura brasileira é disponibilizar esta tecnologia para os pequenos e médios produtores, como ferramenta para promover a competitividade e sustentabilidade do agronegócio brasileiro, não só pelo uso racional de insumos, mas também por ser uma ferramenta importante para a gestão das atividades agropecuárias, gestão hídrica, rastreabilidade, defesa agropecuária e

monitoramento dos impactos ambientais. A aplicação desta tecnologia vai muito além das atividades agrícolas, pois tem um enorme potencial e aplicabilidade nas atividades pecuárias, como em Pecuária ou Zootecnia de Precisão, auxiliando, principalmente, na promoção do conforto e bem estar animal (BRASIL, 2011).

Por seu caráter sistêmico, os Sistemas de Informação Geográfica têm sido intensivamente utilizados na agricultura de precisão. Os SIG podem desempenhar um papel vital na fase inicial da tomada de decisões espaciais através da sua capacidade de integração e exploração de dados e informação de um variado leque de fontes. Permitem armazenar, integrar e processar grandes quantidades de dados georreferenciados e apresentar a informação graficamente com um formato de fácil compreensão para os tomadores de decisão, não só no planejamento, mas também como ferramenta operacional de apoio às decisões de gestão regular dos recursos naturais.

2.1.1 Gestão Rural Integrada e AP

As tecnologias da Agricultura de Precisão têm sido aplicadas principalmente para aumentar a produção das culturas. Estas tecnologias são extensíveis à gestão dos recursos naturais, tanto na exploração agrícola, como em escalas mais amplas. Esta competência ampliada da tecnologia de precisão, apropriadamente denominada conservação de precisão, enfatiza a sustentabilidade dos recursos do solo e água em sistemas agrícolas e naturais, não apenas para os benefícios agrícolas, mas também para a proteção do ambiente. Para esse efeito, a conservação de precisão é um conceito inclusivo que recorre à investigação e tecnologia para o mapeamento da variação biológica e físico- química no solo, a fim de auxiliar as decisões de gestão adequadas para essa variação, sob uma perspectiva espacial e temporal (CABOT et al., 2006).

Segundo Nölle (2004), a agricultura está experimentando o uso intensivo das tecnologias da geoinformação e Sistemas de Informação Geográfica. Como um dos exemplos mais proeminentes, cita as demandas para o *Integrated Administration and Controlling System* (IACS) que é o *software* de controle e gerenciamento dos subsídios concedidos às atividades agrícolas, que desde 2005, apoiadas pelas

tecnologias da geoinformação, foram amplamente integradas na Europa em função da construção do sistema de gerenciamento de parcelas agrícolas denominado *Land Parcel Information Systems* (LPIS), que é utilizado por todos os estados membros. Esta iniciativa gerou a oportunidade de administrar de forma integrada aplicações que normalmente são tratadas isoladamente como:

- Agricultura de Precisão;
- Planejamento Estrutural Agrícola;
- Gerenciamento de Nascentes e Erosões;
- Consultoria Agrícola em Geral;
- Rastreabilidade na Agricultura;
- Uso de padrões pelos fazendeiros para que possam receber o pagamento do subsídio;

Iniciativas como as da comunidade europeia colocam as tecnologias da geoinformação numa importante posição no mundo da tecnologia de informação (TI) aplicada à agricultura e reforça a necessidade de uma visão multidisciplinar e sistemática aplicada a gestão agropecuária. Haaren et al. (2012), a partir da necessidade de um sistema padronizado que medisse a biodiversidade em uma propriedade, desenvolveu um aplicativo, utilizando ferramentas *open source*, que produz avaliação dimensionada ordinal ou metricamente e que sugere as respectivas medidas de gestão adequadas. O método produz uma escala ordinal de avaliação da biodiversidade, que inclui biótopos, espécies, conectividade entre biótopos e a influência do uso e cobertura do solo (figura 1). Os resultados dos testes de recobrimento e testes de robustez mostram que a avaliação pode ser facilmente implementada, pois, em sua maior parte, dados disponíveis a partir de agricultores ou consultores.

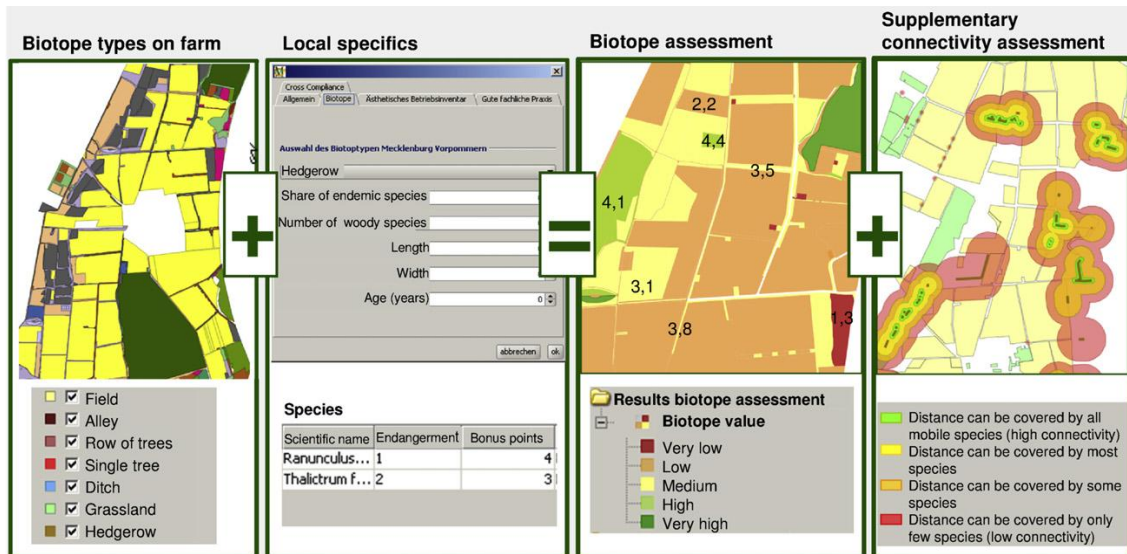


Figura 1 – Aplicativo de avaliação da biodiversidade

Fonte: Haaren et al. (2012).

A gestão integrada das variáveis promovida pelos Sistemas de Informação Geográfica visando o pagamento por serviços ambientais ou ecossistêmicos ainda não é uma realidade no Brasil visto que o governo federal não possui legislação regulamentadora de tais ações (PEIXOTO, 2011). As evidentes diferenças econômicas, geográficas, climáticas e culturais existentes entre as regiões brasileiras podem ser consideradas um obstáculo ao desenvolvimento agropecuário integrado do ponto de vista social, tecnológico e ambiental, todavia todo o conhecimento e tecnologia utilizada na AP têm o potencial de auxiliar este desenvolvimento desde que trabalhados em todas suas vertentes.

2.2 Cartografia e Geoprocessamento

A história da cartografia data da Grécia antiga, onde os antigos utilizavam mapas para representar a sua visão de mundo e os lugares que os cercavam. A introdução da tecnologia computacional na cartografia, a partir dos anos 60, revolucionou a forma de criar, apresentar e usar mapas. Inicialmente, houve relutância quanto ao uso de novas tecnologias computacionais na cartografia, devido ao fato de que os cartógrafos, muitas vezes militares, tinham o receio de que o

computador não permitisse o desenho de um mapa tão preciso quanto os feitos à mão (SANTANA, 2009).

A tecnologia computacional foi inicialmente utilizada na cartografia apenas para a reprodução do processo tradicional, ainda que aprimorado por alguns recursos de edição que facilitavam correções e reproduções. A dúvida nesse estágio era quanto à gravação dos mapas, pois existia o receio da perda de qualidade (CASTRO, 2011).

Com o passar do tempo e a implementação total da tecnologia computacional, deu-se início aos mapas digitais, banco de dados para armazenamento de informações alfanuméricas, e até mesmo o início de conceitos como visualização cartográfica.

A partir desse avanço, proporcionado pela era da informação, a cartografia, que tinha apenas a função de trazer imagens e dados georreferenciados de interesse do homem, desenvolveu-se para a representação de múltiplos fenômenos que o homem deve conhecer para que possa tomar determinadas decisões.

Conforme Ramos e Gerardi (2002) atualmente, já existem tecnologias para que ao perder-se no trânsito, fazendo uso de seu computador portátil ou telefone celular, a pessoa possa consultar um serviço de mapas de localização on-line. Este serviço poderá informar-lhe o menor caminho, a situação do trânsito ao longo do percurso, o tempo de deslocamento e até mesmo o preço da corrida de táxi, além disso, a geoinformação pode chegar até mesmo ao requinte de que, ao entrar em uma determinada rua, a pessoa receba mensagens com as ofertas das lojas ao longo do percurso. Todos estes avanços configuram a nova forma de fazer cartografia denominada Cartografia Digital.

O surgimento de tecnologias que possibilitam a integração de diferentes mídias para a transmissão de informações (multimídia), a possibilidade da interação entre leitor e informação por meio digital e a estruturação da informação de maneira não-linear são alguns dos aspectos que podemos destacar como fundamentais para que se possa pensar em uma nova cartografia, baseada nos princípios da Visualização Cartográfica (RAMOS; GERARDI, 2002).

Ainda segundo Ramos e Gerardi (2002), o conceito de Visualização Cartográfica surgiu no início dos anos noventa e é decorrente do movimento da Visualização Científica. O conceito de visualização, aplicado à cartografia, consiste em fornecer ao leitor do mapa a possibilidade de explorar informações, estabelecer

análises e desta forma obter um conhecimento novo sob forma de mapa. Desta forma, o leitor é agente ativo na construção da representação, e não apenas um mero receptor da informação já previamente analisada e representada por um cartógrafo.

A coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, animais e plantas sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas. Até recentemente, no entanto, isto era feito apenas em documentos e mapas em papel, fato que impedia uma análise que combinasse diversos mapas e dados. Com o desenvolvimento simultâneo, na segunda metade deste século, da tecnologia de informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do geoprocessamento.

Nesse contexto, o termo geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia, Planejamento Urbano e Regional. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de SIGs permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos (CÂMARA et al., 2004).

Pode-se dizer, de forma genérica, “Se onde é importante para seu negócio, então Geoprocessamento é sua ferramenta de trabalho”. Sempre que o onde aparece, dentre as questões e problemas que precisam ser resolvidos por um sistema informatizado, haverá uma oportunidade para considerar a adoção de um SIG (CÂMARA et al., 2004).

2.3 Natureza dos Dados Espaciais

Dados espaciais caracterizam-se especificamente pelo atributo da localização geográfica. Há outros fatores importantes inerentes aos dados espaciais, mas a localização é preponderante. Um objeto qualquer (como uma cidade, a foz de um rio

ou o pico de uma montanha) somente tem sua localização geográfica estabelecida quando se pode descrevê-lo em relação a outro objeto cuja posição seja previamente conhecida ou quando se determina sua localização em relação a certo sistema de coordenadas.

O estabelecimento de localizações sobre a superfície terrestre sempre foi um dos objetos de estudo da Geodésia, ciência que se encarrega da determinação da forma e das dimensões da Terra. A seguir são apresentados alguns conceitos de Geodésia que desempenham um papel de extrema importância na área de Geoprocessamento.

2.3.1 Sistemas de Coordenadas

Os sistemas de coordenadas são necessários para expressar a posição de pontos sobre uma superfície, seja ela um elipsóide, esfera ou um plano. Para o elipsóide, ou esfera, usualmente emprega-se um sistema de coordenadas cartesiano e curvilíneo (Paralelos e Meridianos). Para o plano, um sistema de coordenadas cartesianas X e Y é usualmente aplicável (MAGALHÃES, 1998).

O usuário de SIG está acostumado a navegar em seus dados através de ferramentas simples como o apontamento na tela com o cursor e a subsequente exibição das coordenadas geográficas da posição indicada. Por trás da simplicidade aparente dessa ação, há algumas transformações entre diferentes sistemas de coordenadas que garantem a relação entre um ponto na tela do computador e as coordenadas geográficas (D'ALGE, 2001).

2.3.1.1 Sistema de Coordenadas Geográficas

É o sistema de coordenadas mais antigo. Nele, cada ponto da superfície terrestre é localizado na interseção de um meridiano com um paralelo. A partir da consideração da Terra como uma esfera, o sistema de coordenadas básico utilizado é da mesma forma, esférico, chamado sistema geocêntrico polar. Neste sistema,

considera-se que qualquer ponto na superfície terrestre dista igualmente do centro da esfera (PINA; SANTOS, 2000).

As linhas horizontais chamam-se paralelos, pois são paralelas à linha do equador, e servem para medir a latitude (direção norte-sul), enquanto que as linhas verticais desta rede são os chamados meridianos e vão de um pólo a outro, servindo para medir a longitude (direção leste-oeste). Os paralelos e meridianos podem ser observados na figura 2.

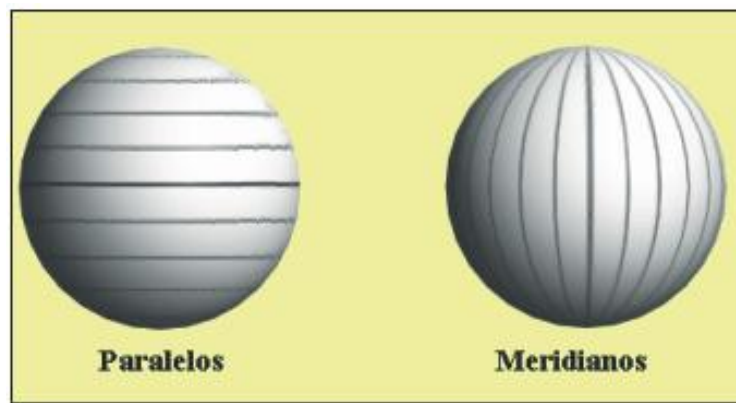


Figura 2 – Eixos Paralelos e Meridianos

Fonte: Pina e Santos (2000).

Conforme D'Alge (2001) o meridiano de origem (também conhecido como inicial ou fundamental) é aquele que passa pelo antigo observatório britânico de Greenwich, escolhido convencionalmente como a origem (0°) das longitudes sobre a superfície terrestre e como base para a contagem dos fusos horários. A leste de Greenwich os meridianos são medidos por valores crescentes até $+180^\circ$. A oeste, suas medidas decrescem até o limite de -180° .

O Equador é o paralelo que divide a Terra em dois hemisférios (Norte e Sul) e é considerado como o paralelo de origem (0°). Partindo do equador em direção aos pólos têm-se vários planos paralelos ao equador, cujos tamanhos vão diminuindo até que se reduzam a pontos nos pólos Norte ($+90^\circ$) e Sul (-90°).

Longitude de um lugar qualquer da superfície terrestre é a distância angular entre o lugar e o meridiano inicial ou de origem, contada sobre um plano paralelo ao

equador. Latitude é a distância angular entre o lugar e o plano do Equador, contada sobre o plano do meridiano que passa no lugar (figura 3).

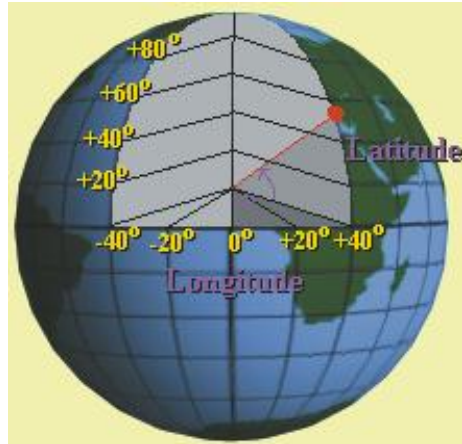


Figura 3 – Diagrama das Latitudes e Longitudes

Fonte: Pina e Santos (2000).

2.3.1.2 Sistema de Coordenadas Planas ou Cartesianas

O sistema de coordenadas planas, também conhecido por sistema de coordenadas cartesianas, baseia-se na escolha de dois eixos perpendiculares cuja interseção é denominada origem, que é estabelecida como base para a localização de qualquer ponto do plano. Nesse sistema de coordenadas um ponto é representado por dois números reais: um correspondente à projeção sobre o eixo x (horizontal) e outro correspondente à projeção sobre o eixo y (vertical). O sistema de coordenadas planas é naturalmente usado para a representação da superfície terrestre num plano, ou seja, confunde-se com aquilo que se chama de sistema de coordenadas de projeção.

A elaboração de um mapa requer um método que estabeleça uma relação entre os pontos da superfície da Terra e seus correspondentes no plano de projeção do mapa. Para se obter essa correspondência, utilizam-se os sistemas de projeções cartográficas. De um modo genérico, um sistema de projeção fica definido pelas relações apresentadas entre as coordenadas planas ou de projeção (x,y) e as coordenadas geográficas (φ , λ). Isto ocorre porque não se pode passar de uma

superfície curva para uma superfície plana sem que haja deformações. Por isso os mapas preservam certas características ao mesmo tempo em que alteram outras.

Atualmente o Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM) é um dos sistemas de projeção mais utilizados mundialmente. Conforme Pina e Santos (2000) este sistema surgiu em 1947 para determinar as coordenadas retangulares nas cartas militares, em escala grande, de todo o mundo. Tendo sido proposto em 1951, pela IUGG (*International Union of Geodesy and Geophysics*) como um sistema universal, numa tentativa de unificação dos trabalhos cartográficos.

No Brasil, o sistema UTM foi adotado em 1955 pela Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) do Exército e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o mapeamento sistemático do país. Gradativamente foi sendo adotado para o mapeamento topográfico de qualquer região, sendo hoje bastante utilizado em variados tipos de levantamentos. O mapeamento sistemático do Brasil, que compreende a elaboração de cartas topográficas nas escalas 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000, é feito na projeção UTM (D'ALGE, 2001).

De acordo com Pina e Santos (2000), as principais características do sistema UTM são:

- A Terra é dividida em 60 fusos de 6° de longitude, numerados a partir do anti-meridiano de Greenwich (180°), seguindo de oeste para leste até o fechamento neste mesmo ponto de origem (figura 4);
- Cada fuso possui um meridiano central (MC) que o divide exatamente ao meio, sendo o seu valor igual ao do limite inferior do fuso mais 3 graus;
- Contagem de coordenadas é idêntica em cada fuso e tem sua origem a partir do cruzamento entre a linha do equador e o meridiano central do fuso; e
- A extensão em latitude vai de 80° Sul até 84° Norte, ou seja, vai até às calotas polares.

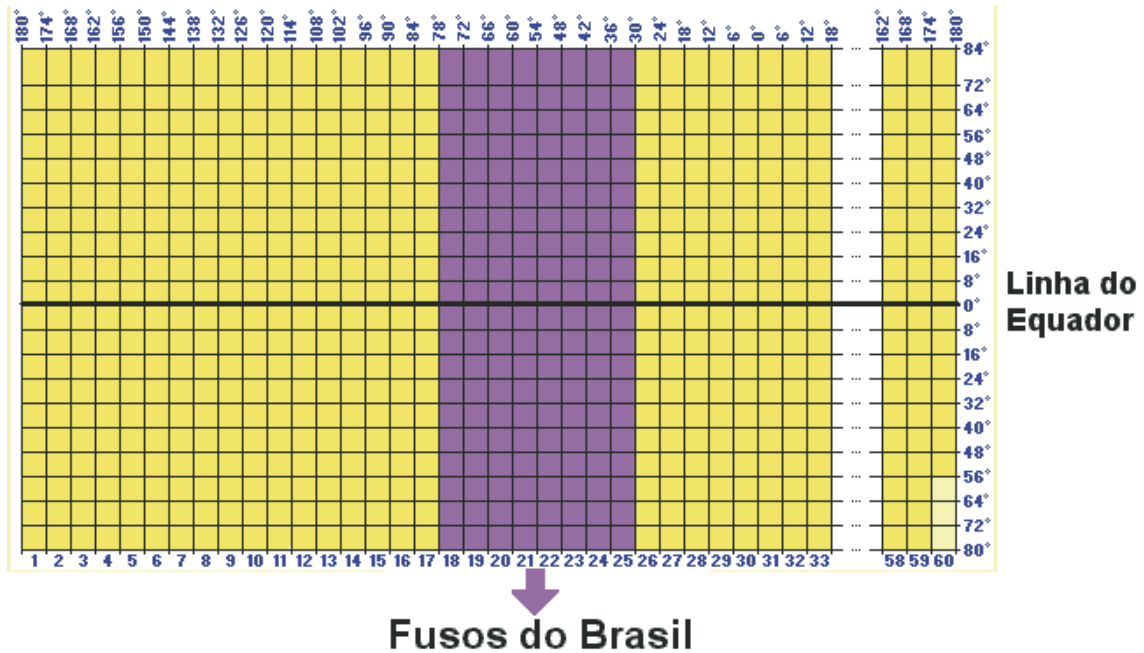


Figura 4 – Contagem dos fusos do sistema UTM

Fonte: Pina e Santos (2000).

No Sistema de Coordenadas UTM a origem das coordenadas se dá no cruzamento da linha do equador com o meridiano central de cada fuso. Logo, as mesmas coordenadas se repetem em todos os fusos, o que torna fundamental o conhecimento acerca da numeração do fuso ou da coordenada do Meridiano Central já que estes são os únicos parâmetros que distinguem os fusos.

Para evitarem coordenadas negativas, são acrescentadas as seguintes constantes:

- 10.000.000 m para o Equador no hemisfério sul (no hemisfério norte o equador recebe o valor de 0m). As coordenadas diminuem em direção ao pólo sul e aumentam em direção ao pólo norte.
- 500.000 m para o meridiano central de cada fuso. As coordenadas aumentam para leste e diminuem para oeste do Meridiano Central.

2.4 Sistemas de Informação Geográfica

De acordo com Casanova et al. (2005), o termo Sistema de Informação Geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional

de dados geográficos. A principal diferença de um SIG para um sistema de informação convencional é sua capacidade de armazenar tanto os atributos descritivos como as geometrias dos diferentes tipos de dados geográficos. A partir destes conceitos, é possível indicar as principais características de SIGs:

- Inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de meio físico-biótico, de dados censitários, de cadastros urbano e rural, e outras fontes de dados como imagens de satélite, e GPS.
- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar e visualizar o conteúdo da base de dados geográficos.

No nível mais próximo ao usuário, a interface homem-máquina define como o sistema é operado e controlado. Esta interface pode ser tanto baseada na visualização de mapas estáticos como numa “mesa de trabalho”, como adaptada ao ambiente de navegação da internet e/ou baseadas em linguagens de comando como *Structured Query Language* (SQL). Os componentes de um SIG estão mostrados na figura 5.

No nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais. A entrada de dados inclui os mecanismos de conversão de dados. Os algoritmos, de consulta e análise espacial, incluem as operações topológicas, álgebra de mapas, estatística espacial, modelagem numérica de terreno e processamento de imagens.

Os mecanismos de visualização e plotagem devem oferecer suporte adequado para a apreensão cognitiva dos aspectos relevantes dos dados pesquisado. No caso dos mapas interativos, Maziero (2007) ratifica que não devem ser uma transcrição ou cópia dos mapas estáticos, como a digitalização dos mapas no papel para formatos digitais. As feições mapeadas e a simbologia do mapa estático precisam de adequações para então ser traduzidas para uso no mapeamento digital. São necessárias soluções que previnam problemas de percepção na interface digital. Maziero (2007) considera também que a tecnologia deve ser útil para que o usuário atinja com facilidade e satisfação os seus objetivos quando usa um mapa interativo.

No nível mais interno do sistema, um sistema de gerência de bancos de dados geográficos oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos. Cada sistema, em função de seus objetivos e necessidades,

implementa estes componentes de forma distinta, mas todos os subsistemas citados devem estar presentes num SIG.

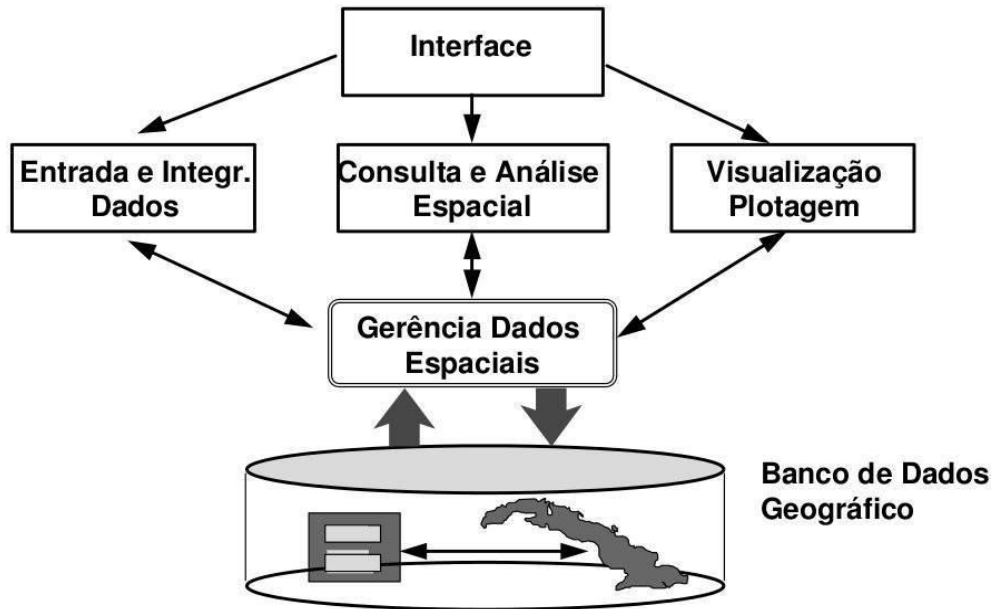


Figura 5 – Estrutura Geral de Sistemas de Informação Geográfica

Fonte: Câmara et al. (1996).

2.4.1 Arquitetura SIG

De acordo com Casanova et al. (2005), ao longo dos anos, as implementações de SIGs seguiram diferentes arquiteturas, distinguindo-se principalmente pela estratégia adotada para armazenar e recuperar dados espaciais. Mais recentemente, tais arquiteturas evoluíram para utilizar, cada vez mais, recursos de Sistemas de Gerência de Banco de Dados (SGBDs). Um SGBD oferece serviços de armazenamento, consulta e atualização de bancos de dados. Existem basicamente duas principais formas de integração entre os SIGs e os SGBDs, que são a arquitetura dual e a arquitetura integrada.

A arquitetura dual, mostrada na figura 6 (esquerda) armazena os componentes espaciais dos objetos separadamente. A componente convencional, ou alfanumérica, é armazenada em um SGBD relacional e a componente espacial é

armazenada em arquivos com formato proprietário. Os principais problemas dessa arquitetura são:

- Dificuldade no controle e manipulação dos componentes espaciais;
- Dificuldade em manter a integridade entre a componente espacial e a componente alfanumérica;
- Separação entre o processamento da parte convencional, realizado pelo SGBD, e o processamento da parte espacial, realizado pelo aplicativo utilizando os arquivos proprietários;
- Dificuldade de interoperabilidade, já que cada sistema trabalha com arquivos com formato proprietário.

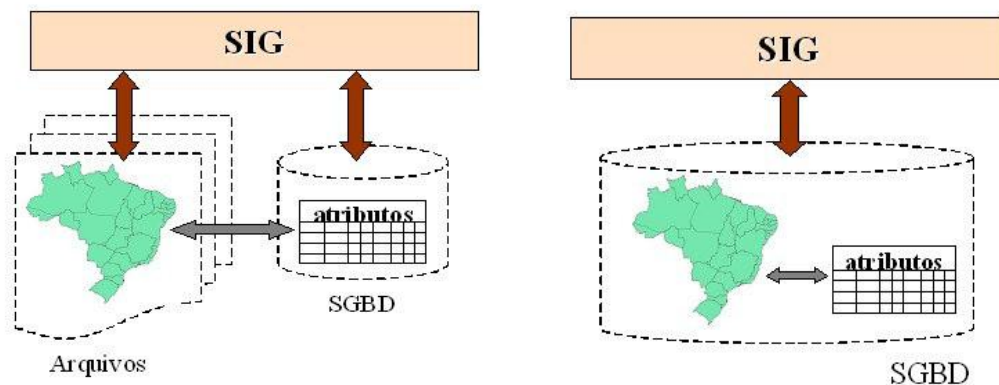


Figura 6 – Arquitetura Dual e Integrada

Fonte: Casanova et al. (2005).

A arquitetura integrada, mostrada na figura 6 (direita), consiste em armazenar todos os dados em um SGBD, ou seja, tanto a componente espacial quanto a alfanumérica. Sua principal vantagem é a utilização dos recursos de um SGBD para controle e manipulação de objetos espaciais, como gerência de transações, controle de integridade, concorrência e linguagens próprias de consulta. Sendo assim, a manutenção de integridade entre a componente espacial e alfanumérica é feita pelo SGBD (CÂMARA et al., 2004).

2.4.2 Tipos de Dados Espaciais em SIG

Conforme Câmara et al. (1996) os dados georreferenciados são comumente caracterizados a partir de três componentes fundamentais:

- Características não-espaciais, descrevendo o fenômeno sendo estudado, tais como o nome e o tipo da variável;
- Características espaciais, informando a localização espacial do fenômeno, ou seja, seu georreferenciamento, associado às propriedades geométricas e topológicas;
- Características temporais, identificando o tempo para o qual tais dados são considerados, isto é, quando foram coletados e sua validade.

A distribuição espacial dos dados georreferenciados pode conter uma, duas ou três dimensões. Como exemplo pode-se citar as medidas pluviométricas em locais pré-determinados (dados pontuais); a descrição de uma área de vegetação (dados em 2D); ou fenômenos atmosféricos (dados em 3D). Enquanto determinados fatores permanecem relativamente constantes ao longo do tempo (por exemplo, tipo de solo ou bacia hidrográfica), outros aspectos podem variar rapidamente, em função de mudanças políticas ou socioeconômicas.

Outro aspecto muito importante reside no fato de que os fenômenos georreferenciados não existem sozinhos no espaço, ou seja, tão importante quanto localizá-los é descobrir e representar os seus relacionamentos. Estes relacionamentos são inúmeros e, de fato, dependem da percepção do usuário. Tais relacionamentos são muitas vezes imprecisos (por exemplo, “perto”, “à direita de”) e dependentes do contexto.

De uma forma geral, consultas a dados em SIGs podem envolver tanto o estado de um fenômeno quanto a sua distribuição espacial e temporal. As consultas podem se limitar a um fenômeno específico ou a relacionamentos espaço-temporais entre fenômenos geográficos distintos.

2.4.3 Estruturas de Representação em SIG

Conforme descrito por Câmara et al. (2004) e Casanova et al. (2005) as estruturas de dados, utilizadas em bancos de dados geográficos, podem ser divididas em duas grandes classes: estruturas vetoriais e estruturas matriciais. De acordo com Pina e Santos (2000), ambas surgiram como solução para a estruturação de dados gráficos, contudo, tanto uma quanto outra possui vantagens e desvantagens de acordo com a utilização a que se destinam.

A maioria dos SIG atuais suporta ambas as estruturas, o que permite ao usuário efetuar transformações entre elas conforme lhe seja mais apropriado. É importante ressaltar que nenhuma das estruturas é a ideal em todas as ocasiões, e os critérios de escolha baseiam-se fundamentalmente nos objetivos do projeto (PINA; SANTOS, 2000).

2.4.3.1 Representação Matricial

As estruturas matriciais, também denominadas raster, utilizam uma grade regular sobre a qual se representa, célula a célula, o elemento que está sendo representado. A cada célula atribui-se um código referente ao atributo estudado de tal forma que o computador saiba a que elemento ou objeto pertence determinada célula. Nesta representação, o espaço é representado como uma matriz $P (m, n)$ composto de m colunas e n linhas, onde cada célula possui um número de linha, um número de coluna e um valor correspondente ao atributo estudado e cada célula é individualmente acessada pelas suas coordenadas (CASANOVA et al., 2005).

A representação matricial supõe que o espaço pode ser tratado como uma superfície plana, onde cada célula está associada a uma porção do terreno. A resolução do sistema é dada pela relação entre o tamanho da célula no mapa ou documento e a área por ela coberta no terreno, como mostrado na figura 7.

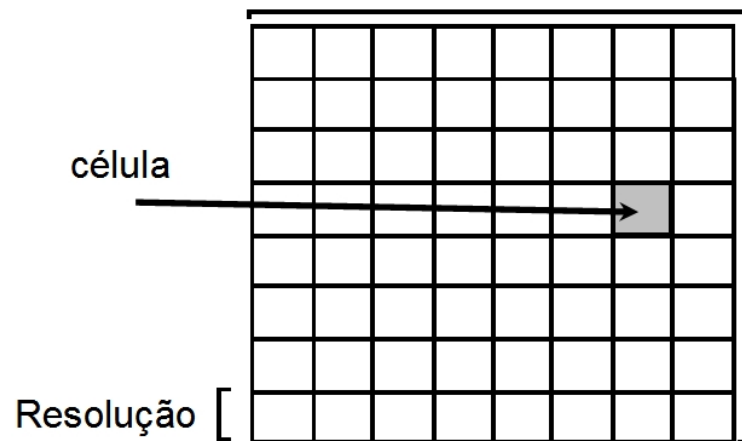


Figura 7 – Estrutura matricial

Fonte: Casanova et al. (2005).

A resolução espacial do sistema é dada pela relação entre o tamanho da célula no mapa ou documento e a área por ela coberta no terreno. A figura 8 mostra um mesmo mapa representado por células de diferentes tamanhos (diferentes resoluções), representando a mesma área no terreno (CÂMARA et al., 2004).

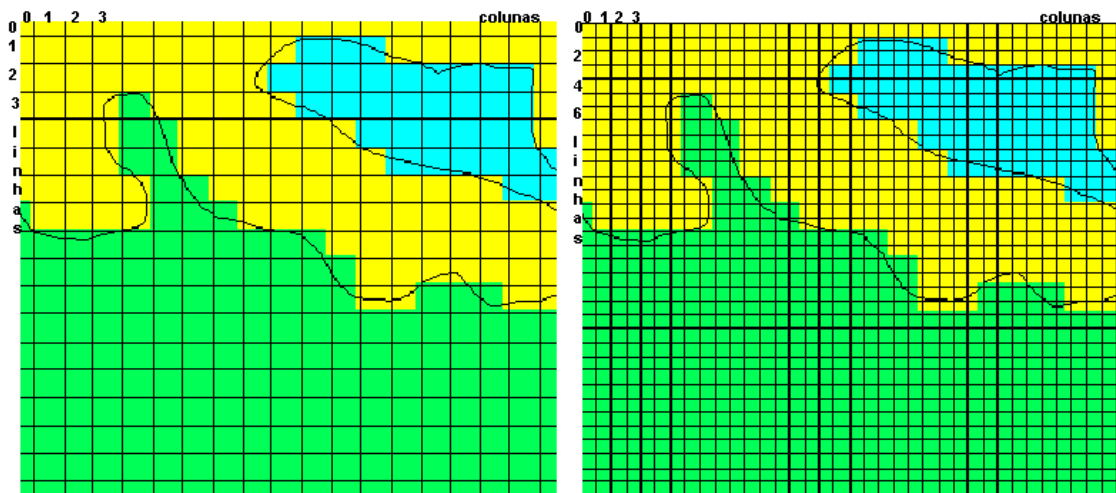


Figura 8 – Representação Matricial em Diferentes Resoluções Espaciais

Fonte: Câmara et al. (2004).

O mapa do lado esquerdo possui resolução espacial quatro vezes menor que o mapa do lado direito, as avaliações de áreas e distâncias serão bem menos exatas

que no primeiro. Em contrapartida, o espaço de armazenamento necessário para o mapa da direita será quatro vezes maior que o da esquerda.

2.4.3.2 Representação Vetorial

As estruturas vetoriais são utilizadas para representar as coordenadas das fronteiras de cada entidade geográfica, através de três formas básicas: pontos, linhas, e áreas (ou polígonos), definidas por suas coordenadas cartesianas, como mostradas na figura 9 (CASANOVA et al., 2005).

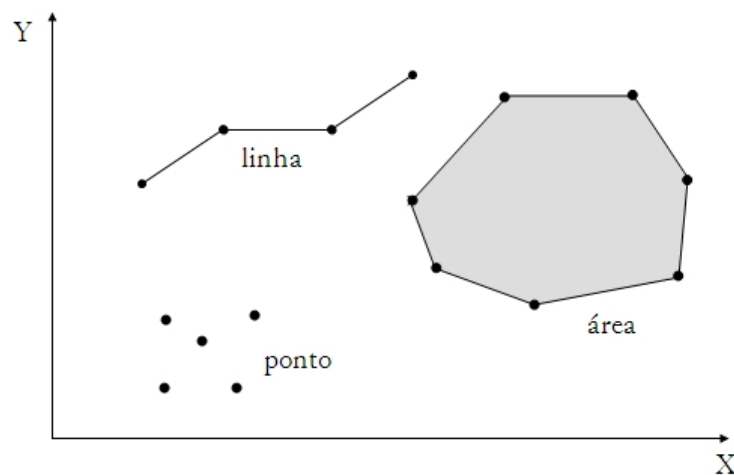


Figura 9 – Representações vetoriais em duas dimensões

Fonte: Casanova et al. (2005).

Um ponto é um par ordenado (x, y) de coordenadas espaciais. O ponto pode ser utilizado para identificar localizações ou ocorrências no espaço. São exemplos: localização de crimes, ocorrências de doenças, e localização de espécies vegetais. Uma linha é um conjunto de pontos conectados e é utilizada para guardar feições unidimensionais.

Uma área (ou polígono) é definida como um conjunto ordenado de pontos interligados, em que o primeiro ponto e o último coincidem. São utilizados quase sempre na representação de zonas que possuem uniformemente uma dada

propriedade, ou seja, figura fechada, cujo os limites encerram uma área homogênea como setores censitários, distritos, zonas de manejo agrícola, municípios (CÂMARA et al., 2004).

A tabela 1 apresentada por Casanova et al. (2005) e bastante documentada por diversos autores demonstra as vantagens e desvantagens entre as estruturas de dados matricial e vetorial. Basicamente isto inclui volume de dados (ou eficiência de armazenamento), eficiência de recuperação, eficiência na manipulação dos dados (ou processamento), acurácia e precisão dos dados e visualização dos dados. Algumas dessas diferenças, no entanto, são menos importantes nas implementações modernas de SIG.

A principal vantagem das estruturas matricial está em sua simplicidade, não exigindo programas complexos para a manipulação dos dados, facilitando a elaboração de aplicações específicas. O problema no uso desta estrutura refere-se à precisão dos mapas digitais obtidos, uma vez que esta depende diretamente da resolução da quadrícula, acarretando sérias dificuldades na representação de manchas pequenas ou padrões lineares como rios e estradas. A solução nestes casos é o refinamento da malha, porém exige meios de armazenamento mais potentes. Outra limitação da estrutura matricial, quando comparada com a vetorial, refere-se à qualidade visual de apresentação dos produtos finais (mapas), produzidos em impressoras e/ou *plotters*, assim como a precisão obtida. A estrutura vetorial permite uma apresentação mais adequada dos dados, não só do ponto de vista estético, mas também pelo fato de que o produto final assemelha-se muito mais à forma analógica (convencional) de elaboração de mapas.

Os modernos SIGs possibilitam acessar, armazenar, manejar, recuperar e visualizar dados de ambas as estruturas (matricial e vetorial), assim como a possibilidade de converter dados de uma estrutura para outra. Normalmente, para o processo de entrada de dados (via mesa digitalizadora ou vetorização) utiliza-se a estrutura vetorial, e para o processo de análise e cruzamento de mapas (temas), a estrutura matricial (ROSA, 2004).

Tabela 1 – Comparação entre estruturas vetoriais e matriciais

Aspecto	Vetorial	Matricial
Armazenamento	Por coordenadas (mais eficiente)	Requer mais espaço de armazenamento
Algoritmos	Problemas com erros Geométricos	Processamento mais rápido e eficiente.
Escalas de trabalho	Adequado tanto a grandes quanto a pequenas escalas	Mais adequado para pequenas escalas (1:25.000 e menores)
Análise, Simulação e Modelagem	-Representação indireta de fenômenos contínuos - Álgebra de mapas é Limitada	- Representa melhor fenômenos com variação contínua no espaço - Simulação e modelagem mais fáceis

Fonte: Casanova et al. (2005).

2.4.4 Softwares Livres e SIGs

A característica mais importante do *software* livre é a liberdade de uso, cópia, modificações e redistribuição. Esta liberdade é conferida pelos autores do programa e é efetivada através da distribuição do código fonte dos programas, o que os transforma em bens públicos, disponíveis para utilização por toda a comunidade e da maneira que seja mais conveniente a cada indivíduo. O *software* livre ganhou notoriedade nos últimos anos. Este modo de produção de *software* tem resultado em produtos de excelente qualidade e grande alcance em alguns setores do mercado mundial de *software* (HEXSEL, 2002).

A liberdade para usar, copiar, modificar e redistribuir *software* livre lhe confere uma série enorme de vantagens sobre o *software* proprietário. A mais importante delas é a disponibilidade do código fonte, porque isto evita que os usuários se tornem reféns de tecnologias proprietárias.

A comunidade de desenvolvimento de *software* livre está espalhada pelo mundo todo e seus participantes cooperam nos projetos através da internet. Estima-se que participam desta comunidade mais de 100 mil programadores e projetistas, com a grande maioria deles trabalhando voluntariamente em um ou mais projetos. Estima-se também que existam mais de 10 milhões de usuários regulares de sistemas operacionais e aplicativos distribuídos como *software* livre.

Com números desta ordem de grandeza e produtos de excelente qualidade, o modo de produção de *software* livre aparenta ser um novo e fundamental componente da economia moderna, que por ser moderna depende fortemente de *softwares*.

Os *softwares* proprietários (não-livres) geralmente são produzidos com a finalidade de obtenção de lucro e, portanto, estão sujeito a três tipos principais de pressões de mercado:

- Inclusão de funcionalidades “imprescindíveis” (e frequentemente inúteis);
- Obsolescência programada para possibilitar a venda de novas versões;
- Prazos de desenvolvimento e testes muito curtos para atender às pressões já mencionadas.

Na tentativa de atender as necessidades do mercado, muitos *softwares* proprietários são vendidos antes mesmo de terem passado por testes suficientes, e estarem, portanto estáveis e livres da maioria dos erros de programação.

Em contraponto aos *softwares* proprietárias, Hexsel (2002) propõem uma lista com as principais vantagens da utilização dos *softwares* livres.

- Custo social é baixo;
- Não se fica refém de tecnologia proprietária;
- Independência de fornecedor único;
- Desembolso inicial próximo de zero;
- Robustez e segurança;
- Possibilidade de adequar aplicativos e redistribuir versão alterada;
- Suporte abundante e gratuito; e
- Sistemas e aplicativos geralmente muito configuráveis.

Os benefícios econômicos provenientes da utilização de *softwares* livres são muito maiores e mais importantes que a simples economia com o licenciamento de *software*. A robustez e confiabilidade do *software* livre provocam reduções significativas em custos operacionais. Além disso, a possibilidade de consulta ao código dos programas permite condições de estudo e aprendizado que são absolutamente inviáveis com *software* proprietário.

O código de um programa distribuído como *software* livre torna-se um bem público que está à disposição de toda a sociedade. Neste sentido, o *software* assemelha-se ao conhecimento científico, que uma vez difundido pode ser

livremente utilizado por todos, e que assim possibilita o próprio avanço da Ciência. Portanto, os benefícios sociais da publicação e do uso de *software* livre são: a liberdade na utilização das ferramentas, e especialmente a disponibilidade do conhecimento envolvido na produção destas ferramentas.

Outro benefício social importante é a transparência na codificação das informações tratadas pelos programas. Os formatos empregados para armazenar e tratar as informações são abertos porque o código fonte dos programas pode ser livremente examinado, e não existe assim a possibilidade de que, por exemplo, dados usados no serviço público sejam mantidos em formatos de propriedade de uma entidade privada. O mesmo raciocínio se aplica aos protocolos de comunicação empregados para a transferência de informações entre computadores ou sistemas (HEXSEL, 2002).

Conforme Uchoa e Ferreira (2004) o rápido crescimento dos *softwares* livres tem abastecido o mercado com diversas aplicações em vários segmentos. Hoje quando se pensa numa solução livre, dispõe-se de uma grande variedade de soluções sem custo de licenciamento.

O segmento das geotecnologias também tem sido bastante influenciado pelas soluções livres, inclusive com o desenvolvimento cooperativo de robustos SIGs e padrões de interoperabilidade.

Conseqüentemente o SIG, o WebGIS e tecnologias associadas tais como Sensoriamento Remoto e GPS sofreram um grande impacto com o surgimento de *software* de código aberto nas respectivas áreas. O código aberto tornou-se um fator importante e incontornável na indústria do *software*.

A partir de exemplos como as prefeituras de Porto Alegre e do Recife, o governo federal brasileiro tem anunciado apoio aos projetos de implantação de *software* livre. As expectativas do governo se baseiam em quatro hipóteses sobre o *software* livre (CÂMARA, 2010):

- (a) menor custo;
- (b) independência de tecnologia proprietária;
- (c) disponibilidade de soluções de *software* livre eficiente e com boa qualidade;
- (d) existência de capacidade local de desenvolver soluções adaptadas para o cliente público brasileiro.

Existe um grande número de licenças para *software* de código aberto. Entre os mais populares temos as seguintes (OPEN SOURCE INITIATIVE, 2014):

- GNU *General Public License* (GPL) - uma das licenças mais populares, amplamente utilizado em sistemas operativos baseados em Linux. A licença que é recomendada e promovida pela *Free Software Foundation*.
- GNU *Lesser General Public License* (LGPL) - licença menos restritiva e ligeiramente diferente do GPL.
- *Berkeley Software Distribution License* (BSD) - um homólogo tradicional da licença GPL, por sua atitude liberal que permite o uso comercial, sem obrigação alguma de compensação direta.
- *Mozilla Public License* (MPL) - uma licença equilibrada que tenta dar as respectivas liberdades de ambos os mundos do *software* comercial e livre. A licença é endossada pela *Mozilla Foundation*, e conseqüentemente, a maioria (senão todos) dos projetos apoiados pela fundação a usa.
- *Apache License* - uma licença liberal, que não exige que os trabalhos derivados sejam licenciados da mesma maneira, mas apenas "lembrar" do uso da licença Apache no *software* distribuído. Amigável no seu uso em *software* comercial. A licença é de autoria e totalmente subscrita pela *Apache Software Foundation*, assim, a maioria dos projetos comerciais estão usando como uma licença preferida.
- Domínio Público - por vezes não há requisitos específicos ou obrigações que acompanham o código-fonte de um projeto ou um produto. Às vezes, por motivos de simplicidade e atitude os programadores decidem colocar sem limitações, deixando-a fazer parte do Domínio Público. Logo, o *software* de domínio público implica nenhuma regulamentação na forma como o *software* é utilizado.

2.5 Aplicativos WEB

O interesse dos programadores pelo desenvolvimento para a internet já atinge um nível muito alto desde que o uso da web se popularizou. Isso ocorre, em grande

parte, pela complexidade desses sistemas e pelo envolvimento cada vez maior de tecnologias variadas (LOBO, 2007).

A evolução das tecnologias de telecomunicação teve um impacto fundamental no aparecimento de novas plataformas e, conseqüentemente, a necessidades da disponibilidade de informações. Cada vez mais se pretende que a informação seja disponibilizada a qualquer hora, em qualquer lugar e para qualquer plataforma. A portabilidade da informação passa a ser um requisito essencial no âmbito da sua distribuição através da internet (ARAUJO; ROCHA, 2004).

Os aplicativos WebGIS, como ferramenta de divulgação de dados geográficos, são atualmente desenvolvidos utilizando uma vasta gama de aplicativos e linguagens de programação que, a critério dos desenvolvedores, são utilizados visando atender as necessidades do cliente e minimizar o custo de desenvolvimento e manutenção do sistema. Segue a descrição de uma lista de *softwares* e linguagens que foram utilizados no desenvolvimento do WebGIS Labeco Embrapa Pecuária Sul.

2.5.1 Linguagem de Programação PHP, HTML e *JavaScript*

2.5.1.1 Linguagem de Programação PHP

PHP é uma sigla recursiva que significa *HyperText Preprocessor*. O PHP é uma linguagem de código-fonte aberto, muito utilizada na internet e especialmente criada para o desenvolvimento de aplicativos web. É uma linguagem de programação baseada na linguagem C que é processada no servidor, ou seja, aquela que é executada no servidor web antes da página ser enviada através da internet ao cliente. As páginas que executam no servidor podem realizar acessos a banco de dados, conexões de rede, e outras tarefas para criar a página final que será vista pelo cliente (ANGEL ALVAREZ, 2014).

A diferença de PHP com relação a linguagens semelhantes à *JavaScript* é que o código PHP é executado no servidor, sendo enviado para o cliente apenas

HTML puro. Na figura 10, pode-se observar o processamento realizado por um aplicativo web desenvolvido na linguagem de programação PHP.

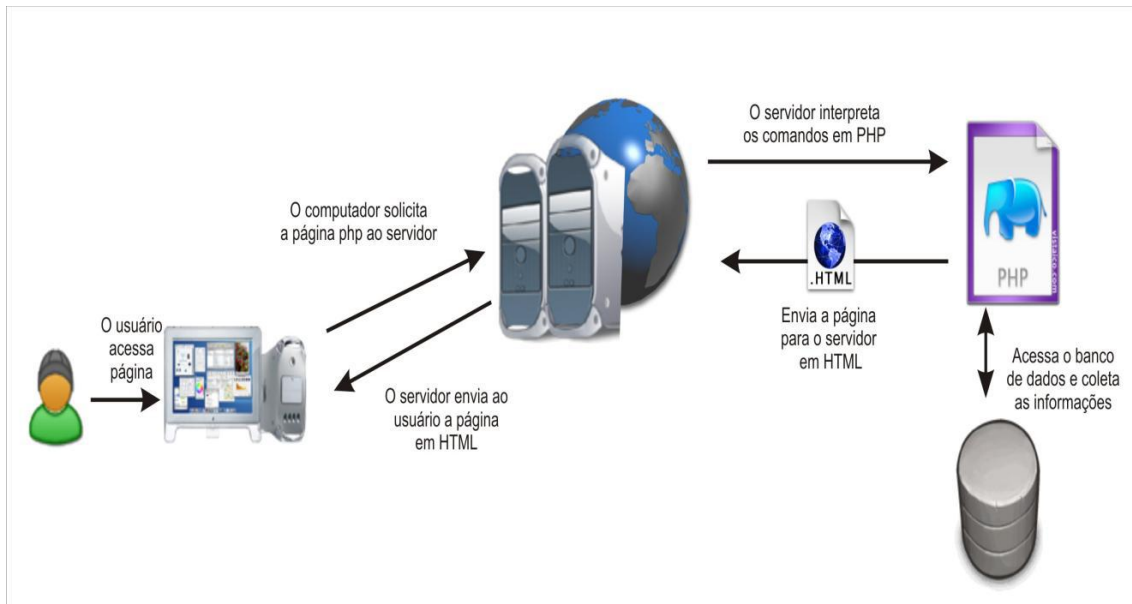


Figura 10 – Diagrama de funcionamento da linguagem de programação PHP

Fonte: Angel Alvarez (2014).

Possivelmente a mais forte e mais significativa característica do PHP seja seu suporte a uma ampla variedade de sistemas de gerenciamento de bancos de dados (PHP GROUP, 2014), além de possuir capacidade de extensibilidade e oferecer aos usuários finais uma infraestrutura sólida para diversos bancos de dados e protocolos. Outra característica chave do PHP é o suporte a sintaxe para orientação a objetos, que é bem mais consistente, melhorando assim o desempenho e o desenvolvimento de aplicações complexas.

2.5.1.2 Linguagem de Programação HTML

HTML é uma abreviação de *Hypertext Markup Language*, em português, linguagem de marcação de hipertexto. Resumindo em uma frase: o HTML é uma linguagem para publicação de conteúdo (texto, imagem, vídeo, áudio e etc.) na web.

O HTML é baseado no conceito de hipertexto. Hipertexto são conjuntos de elementos – ou nós – ligados por conexões. Estes elementos podem ser palavras, imagens, vídeos, áudio, documentos, etc. Estes elementos conectados formam uma grande rede de informação. Eles não estão conectados linearmente como se fossem textos de um livro, onde um assunto é ligado ao outro seguidamente. A conexão feita em um hipertexto é baseada em procedimentos de lógica que permitem a comunicação de dados, organizando conhecimentos e guardando informações relacionadas.

Para distribuir informação de uma maneira global, é necessário haver uma linguagem que seja entendida universalmente por diversos meios de acesso. O HTML se propõe a ser esta linguagem.

Desenvolvido originalmente por Tim Berners-Lee, o HTML ganhou popularidade quando o *browser Mosaic* desenvolvido na década de 1990 ganhou força. A partir daí, desenvolvedores e fabricantes de *browsers* utilizaram o HTML como base, compartilhando as mesmas convenções (FERREIRA; EIS, 2011).

2.5.1.3 Linguagem de Programação *JavaScript*

O *JavaScript* surgiu com o nome de *LiveScript*, uma linguagem de criação de *scripts* elaborada especificamente para a *Netscape Navigator*. A *Netscape*, em conjunto com a *Sun*, mudou o nome para *JavaScript*. Atualmente, o *JavaScript*, é uma linguagem de programação orientada a objetos (KAUFMAN et al., 1997).

JavaScript é uma linguagem de *script* usada para criar páginas web interativas. Esta linguagem está, como em PHP, embutida dentro de códigos HTML, porém atua de uma forma diferente. A linguagem HTML serve para traduzir ao *browser* todos os componentes de uma página, como caixas de texto, botões, estilos de fonte, etc. (VEER, 2004).

Ainda conforme Veer (2004), a linguagem *JavaScript* trata esses componentes interativamente dependendo de ações de usuários. Nesta linguagem é usado o paradigma de orientação a objetos, sendo assim, os componentes supracitados são tratados como objetos. Pode-se, portanto, utilizar métodos para

alterar esses objetos ou criar eventos decorrentes de uma ação, como por exemplo, ao ser acionado um botão da página.

2.5.2 Banco de Dados

Apesar de o termo “banco de dados” parecer um tanto quanto técnico para a maioria das pessoas, trata-se de um conceito amplamente conhecido e empregado por quase toda a população mundial. Atualmente, a maioria das pessoas tem acesso a equipamentos, cujas funções, são de armazenamento de informações (FERRARI, 2007).

Tudo isso remete ao conceito de banco de dados, ou seja, um local no qual é possível armazenar informações, para consulta ou utilização, quando necessário, independente do aplicativo que se deseja usar para o armazenamento e manipulação das informações, todos os bancos de dados são constituídos por três elementos básicos: campos, registros e tabelas (FERRARI, 2007).

No WebGIS proposto, a ferramenta de banco de dados usada é o *MySQL*, por ser uma ferramenta de caráter livre, de fácil aprendizado, prática e ao qual o PHP tem suporte.

2.5.2.1 Banco de Dados Relacional

A década de 70 foi um marco na evolução dos bancos de dados digitais pois foi nesta época que surgiram os bancos de dados relacionais, definidos como conjuntos autoexplicativos de registros integrados. Antes disso os bancos de dados utilizavam estruturas hierárquicas, o que tornava sua estrutura complexa e difícil de ser consultada.

O modelo relacional foi o primeiro modelo de banco de dados formal. Sua principal proposição é de que todos os dados sejam representados como relações matemáticas, isto é, um subconjunto do produto cartesiano de n conjuntos (FERRARI, 2007).

Desta maneira, o modelo relacional permite ao projetista criar um modelo lógico consistente da informação a ser armazenada. Este modelo lógico pode ser refinado através de um processo de normalização. Um banco de dados construído puramente baseado no modelo relacional estará inteiramente normalizado (FERRARI, 2007).

2.5.2.2 Sistema Gerenciador de Banco de Dados *MySQL*

O *MySQL* é o *software* de banco de dados de código aberto mais popular do mundo, com mais de 100 milhões de cópias baixado ou distribuídos por toda a sua história.

O *MySQL* é um sistema gerenciador de bancos de dados relacional. Um banco de dados relacional armazena dados em tabelas separadas embora todos os dados estejam armazenados em um só local. Isso proporciona velocidade e flexibilidade. As tabelas são unidas por relações definidas tornando possível combinar dados de diferentes tabelas nas requisições. A parte SQL do *MySQL* atende pela "Linguagem estruturada de pesquisas" - a linguagem padrão mais comum usada para acessar bancos de dados (MYSQL, 2014).

Este SGBD é considerado uma alternativa atrativa porque, mesmo possuindo uma tecnologia complexa de banco de dados, seu custo é baixo. Tem como destaque suas características de velocidade, escalabilidade e confiabilidade, o que vem fazendo com que ele seja adotado por departamentos de TI, desenvolvedores web e vendedores de pacotes de *softwares*. Para a execução deste projeto o *software MySQL* foi definido como repositório de dados porque é um servidor robusto de bancos de dados SQL (*Structured Query Language* - Linguagem Estruturada de Consultas) muito rápido, multitarefa e multiusuário que pode ser usado em sistemas de produção com alta carga e missão crítica (MYSQL, 2014).

2.5.3 Quantum SIG

O *Quantum SIG* é um SIG *open source* licenciado sob a Licença Pública Geral GNU. QSIG é um projeto oficial da Fundação Geoespacial de Código Aberto

(OSGeo). Ele roda em *Linux, Unix, Mac OSX, Windows* e *Android* e suporta numerosos vetores, raster e formatos de banco de dados e funcionalidades (QSIG, 2014). O *Quantum SIG* fornece um número continuamente crescente de recursos fornecidos por funções principais e plugins. Pode-se visualizar, gerenciar, editar, analisar dados e compor mapas para impressão. As principais características incluem (NANNI et al., 2014):

- A visualização direta dos dados vetoriais e raster em diferentes formatos e projeções.
- Mapeamento e exploração interativa de dados espaciais. Inclui ferramentas como: compositor de *layout* de impressão, identificar / selecionar feições, editar/visualizar /pesquisar atributos.
- Criar, editar e exportar dados espaciais por meio de ferramentas de digitalização vetorial, calculadora raster, *plugin* de georreferenciamento e ferramentas para importar e exportar e converter dados GPS.
- Realizar análises espaciais, incluindo álgebra de mapas, análise de terreno, modelagem hidrológicas e análise de rede;
- Publicar mapas na internet usando o *QSIG Server*.

Na figura 11 pode-se observar a interface do *software Quantum SIG*.

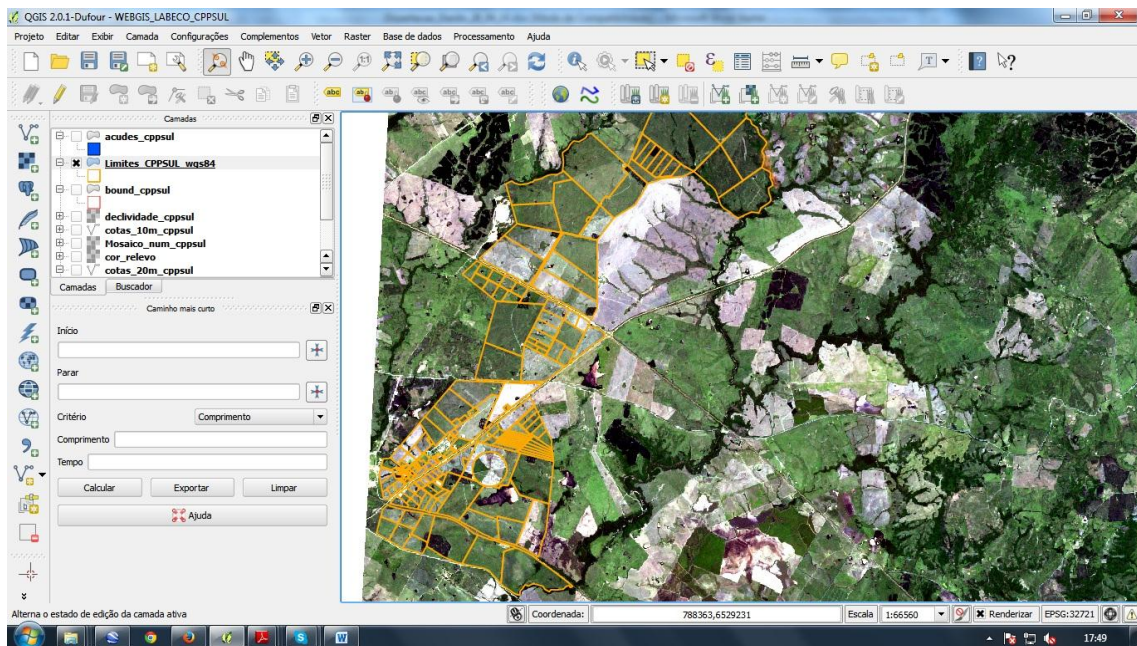


Figura 11 – Exemplo de dados geográficos no *software Quantum SIG*

Fonte: do Autor.

2.5.4 Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING)

O Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING) é um SIG com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais. Ele é um projeto da Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com a participação de empresas como Embrapa, IBM Brasil, Tecgraf / PUC Rio e Petrobras.

O SPRING opera como um banco de dados geográfico e suporta grande volume de dados sem limitações de escala, projeção e fuso, mantendo a identidade dos objetos geográficos ao longo de todo banco. Ele administra tanto dados vetoriais como dados matriciais e realiza a integração de dados de Sensoriamento Remoto em um Sistema de Informações Geográficas (INPE, 2014).

Pela sua robustez, o SPRING pode ser considerado totalmente adaptado à complexidade dos problemas ambientais que requerem uma forte capacidade de integração de dados entre imagens de satélite, mapas temáticos e cadastrais e modelos numéricos de terreno (INPE, 2014). Por isso, na presente dissertação, o tratamento de dados originalmente matriciais e de modelo digital de elevação foram realizados no SPRING para posterior vetorização e inserção no WebGIS.

2.5.5 OpenLayers

O *OpenLayers* é uma biblioteca *JavaScript* desenvolvida para promover o uso da informação geográfica de todos os tipos. *OpenLayers* torna fácil colocar um mapa dinâmico em qualquer página da web. Ele atua no lado cliente de um sistema WebGIS, consumindo geralmente requisições WMS e WFS provenientes de servidores de mapas dedicados como *GeoServer* ou *MapServer*, todavia pode manipular dados vetores de extensões como *kml* ou *geojson*. Por ter sido desenvolvido em *JavaScript*, permite maior usabilidade e torna a experiência para o usuário mais amigável, eliminando o elevado custo computacional das requisições

síncronas entre cliente e servidor (OPEN SOURCE GEOSPATIAL FOUNDATION, 2014).

Atualmente a biblioteca *OpenLayers* está desenvolvendo sua versão 3, visando compatibilidade com os mais recentes recursos HTML5 e CSS3. A nova versão da biblioteca vai se concentrar em melhorias de desempenho, códigos mais leves e melhores componentes visuais. Alguns dos principais destaques são a inclusão das bibliotecas *WebGL*, que introduz recursos 3D e maior desempenho para todo o mapeamento, necessários aos navegadores mais recentes, e a biblioteca *Cesium* que permite a visualização de um globo 3D girando como o *Google Earth*, conforme figura 12 (OPEN SOURCE GEOSPATIAL FOUNDATION, 2014).

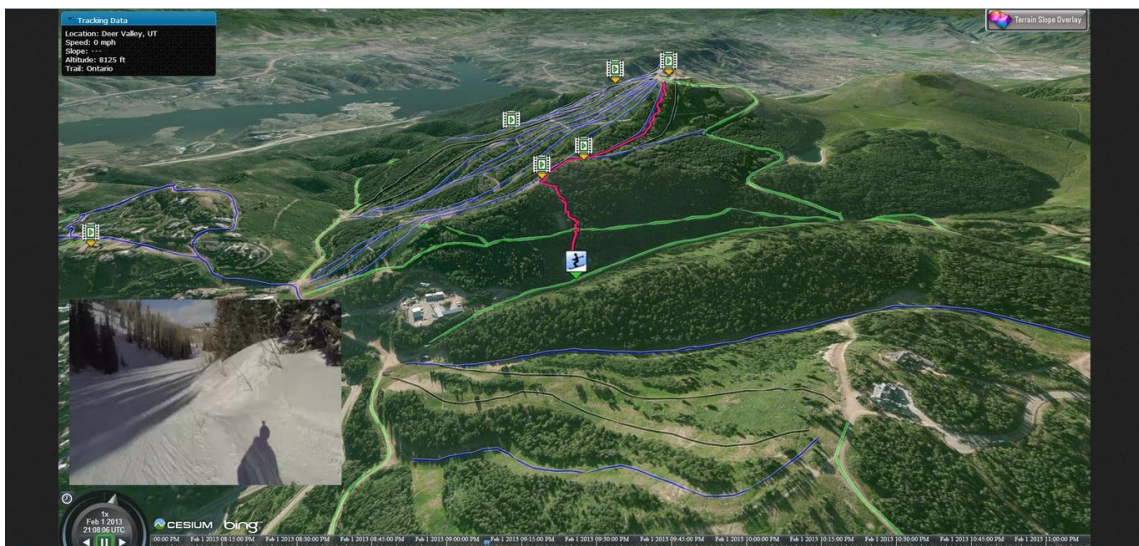


Figura 12 – Exemplo da Biblioteca *OpenLayers Cesium*

Fonte: http://cesiumjs.org/demos/images/powdertracks/PowderTracks_2.jpg.

2.5.6 GeoExt

O *GeoExt* é uma biblioteca *JavaScript* para criação de aplicações *webmapping*. Ela foi desenvolvida a partir de duas bibliotecas já bastante difundidas e utilizadas: a *OpenLayers*, e a *Ext JS* (BARROS FILHO, 2011).

Ainda segundo Barros Filho (2011), o *GeoExt* reúne a capacidade de lidar com dados geoespaciais do *OpenLayers* com a poderosa interface de usuário do *Ext JS* para ajudar a construir aplicações web com *JavaScript* com estilo similar aos SIG desktop. A vantagem da sua utilização é o fato de a mesma possuir vários acessórios que vão desde janelas e menus flutuantes até popups personalizáveis, estendendo rapidamente as possibilidades do *OpenLayers*. Outra vantagem do *GeoExt* é a sua fácil curva de aprendizado, que se dá graças a grande quantidade de exemplos disponíveis em seu *site*.

O *GeoExt* está disponível sob a licença BSD e é apoiado por uma comunidade crescente de indivíduos, empresas e organizações. Componentes e classes *GeoExt* tem objetivo de atribuir funcionalidade de mapa às classes equivalentes em *Ext*. As propriedades, métodos e eventos da API *GeoExt* são extensões ou modificações nas classes de origem no *Ext JS* (GEOEXT COMMUNITY, 2010).

2.5.7 Ext JavaScript

O *Ext JavaScript* ou *Ext JS* é um *framework* orientado a objetos, para desenvolvimento de páginas web, com grande variedade de componentes visuais e rico em documentação que se popularizou pelo apelo visual e a boa usabilidade. Ele fornece componentes para o conjunto de todas as tecnologias no lado cliente e mecanismos de acesso aos recursos no lado servidor (MILFONT, 2008).

Ainda conforme Milfont (2008) os benefícios de usar *frameworks* como o *Ext JS* estão na redução da complexidade pela facilidade de manipulação de um conjunto de tecnologias com uma única API; na possibilidade de acessibilidade semelhante ao ambiente *desktop* e na facilidade do tratamento dos dados em camadas físicas entre o lado servidor e o lado cliente.

Além disso, esse *framework* estende as tecnologias fornecendo efeitos visuais como *drag'n'drop* (arrastar e soltar), mecanismo de encapsulamento das especificidades de cada navegador, implementação de métodos inexistentes na API nativa dos navegadores e tratamento adequado a diversos formatos das fontes de dados.

No desenvolvimento do WebGIS Labeco as ferramentas *Ext JS* foram utilizadas na construção de todos os painéis, as árvores que gerenciam as camadas visualizáveis e a barra de ferramentas superior onde estão os botões que acionam as funções do aplicativo.

2.5.8 Virtual Earth

O Virtual *Earth* apresenta um mapa gerado dinamicamente com base na API do Virtual *Earth* da *Microsoft*. A API é uma biblioteca *JavaScript* pura, assim, não necessita de programa externo ou plugin instalado para torná-lo funcional. O componente permite colocar o mapa em uma página e definir os parâmetros iniciais para ele. Para utilizá-lo, basta referenciar as camadas escolhidas no arquivo de *layers*. Na presente trabalho foram utilizados como camadas base do WebGIS os *Virtuais Earth Hybrid, Aerial e Roads*, sendo o último utilizado na inicialização por apresentar o visual mais claro e ser o mais rápido pois não usa imagens e sim vetores.

2.6 WebGIS

As estimativas sugerem que 80% de todos os dados digitais gerados hoje incluem referência geoespacial (por exemplo, coordenadas geográficas, endereços, códigos postais, etc.) Esta referência permite a integração de vastas quantidades de informação diversa. Ao mesmo tempo, a magnitude e a complexidade dos conjuntos de dados que podem ser reunidos através das suas ligações geoespaciais comuns apresentam um desafio extraordinário para a ciência da informação que é o de transformar esses dados em informações e, posteriormente, em conhecimento (MacEACHREN; KRAAK, 2001).

As novas tecnologias sempre foram uma força motriz nas ciências de informação geográfica, tal qual o são na ciência e sociedade em geral. Com a popularização do acesso à internet, estas novas tecnologias que, incluem motores

de busca, bibliotecas digitais, sistemas de interoperabilidade abertos, comunicações sem fios, novos modelos de interação e muitos mais, surgiram nos SIG como forma de torná-los mais móveis, poderosos e flexíveis, tornando-os ferramentas de comunicação e partilha de conhecimentos geográficos (PENG; TSOU, 2003).

Fu e Sun (2011), definem um WebGIS como sendo qualquer SIG que use uma tecnologia de rede para comunicação entre componentes. Desta maneira, um WebGIS deve possuir no mínimo um servidor e um cliente, onde o servidor é um servidor de aplicações web, e o cliente é um *browser*, uma aplicação desktop ou uma aplicação *mobile* como um *smartphone* ou *pocket PC* (figura 13).

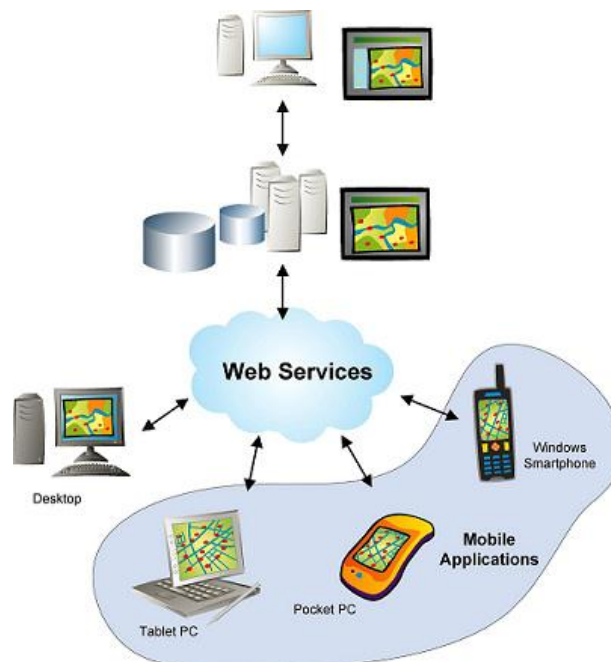


Figura 13 – Arquitetura de um WebGIS

Fonte: Peng e Tsou (2003).

Os dados geográficos disponibilizados na web foram classificados por diversos autores sempre em função da interatividade oferecida. A seguir serão apresentadas algumas classificações.

A classificação proposta por CHANG (1997) sugere um agrupamento de mapas interativos de acordo com as possibilidades de aplicação que são realizadas com os dados dos mapas. Essa classificação compreende as seguintes categorias de mapas interativos:

- Imagens de mapas – São ambientes que propiciam imagens estáticas geradas com SIG, que o usuário pode visualizar no *browser* da web, porém com resolução limitada e sem recursos interativos sobre as imagens;
- Catálogo e biblioteca de bancos de dados espaciais – Nesses ambientes o usuário pode fazer *download* de arquivos de metadados para o seu computador, bem como arquivos de mapa índice, imagens e dados espaciais em formato digital que são oriundos de *softwares* específicos, os quais não podem ser visualizados na web;
- Gerador de mapas por meio de formulários – São ambientes onde o usuário acessa informações sobre os mapas por meio de um formulário que é enviado ao servidor, que gera uma imagem para o usuário, de acordo com as especificações de localização, camadas temáticas e símbolos pedidas pelo usuário;
- *Browser* de mapa em tempo real – Nesses ambientes o usuário visualiza, consulta, recupera e modifica mapas, que estão em um servidor que processa os dados e envia a mensagem *on-line* ao usuário;
- Mapas e imagens em tempo real – São ambientes na qual o usuário acessa um mapa que é modificado continuamente, pois está conectado a sensores *on-line*, que fornecem informações de imagens capturadas por câmeras de vídeo, como as *webcams*.

Para Mitchell (2005) existem basicamente dois grandes tipos de aplicativos de mapeamento da web: estáticos e interativos. Os mapas estáticos exibidos como uma imagem em uma página da web são bastante comuns. Se um programador web já tem um mapa digital (por exemplo, a partir de digitalização de um documento), pode ser publicado rapidamente como um mapa estático em uma página web.

Mapas interativos são mais complexos porque eles requerem habilidades especializadas para manter esses *sites* em funcionamento. O termo interativo implica que o usuário pode de alguma forma interagir com o mapa. Isto pode significar seleção de diferentes camadas de dados do mapa para ver ou fazer zoom em uma determinada parte que se está interessado. Tudo isso é feito enquanto se interage com uma imagem do mapa que é atualizado constantemente. Um exemplo de mapa interativo é o *Google Maps* <<http://www.googlemaps.com.br>>, que é um

programa de mapeamento web interativo para encontrar endereços e instruções de direção.

Estes mapas podem ser muito poderosos, mas como mencionado, eles também podem ser difíceis de configurar devido as habilidades técnicas necessárias para a manutenção de um servidor web, um servidor de mapeamento/programa e gestão dos dados de mapas subjacentes (MITCHELL, 2005).

A figura 14 mostra um diagrama básico de como um usuário final solicita um mapa através de um *site* de mapeamento web e o que acontece nos bastidores. Um usuário solicita um mapa a partir do servidor web e o servidor passa a solicitação para o servidor de mapeamento web, que, em seguida, reúne todos os dados. O mapa é passado por todo o caminho de volta para o navegador do usuário final.

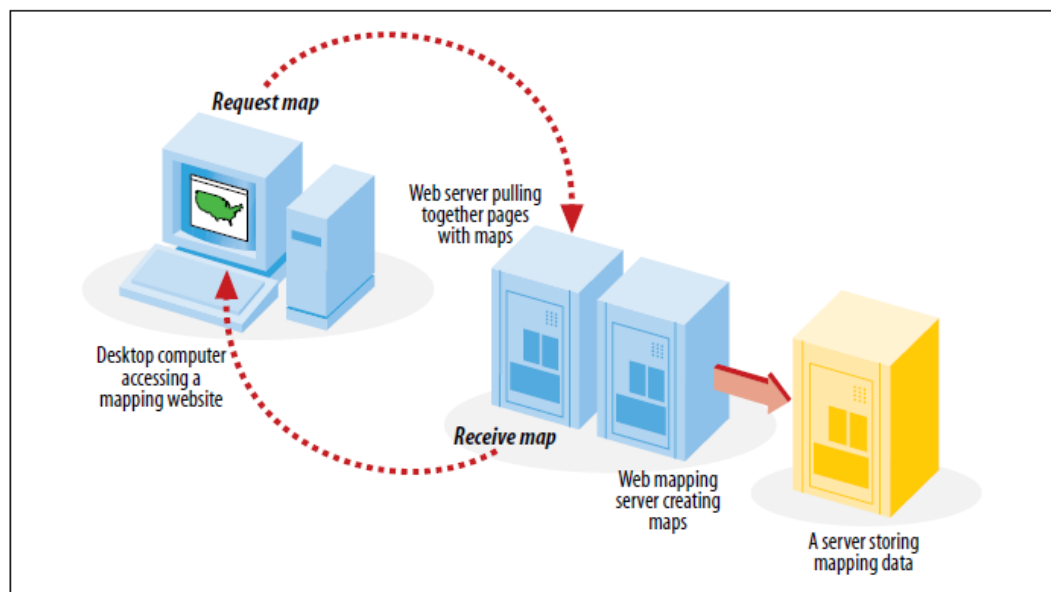


Figura 14 – Diagrama de interação entre o WebGIS e o usuário final

Fonte: Mitchell (2005).

As tecnologias que possibilitaram o aparecimento dos WebGIS, estão em constantemente evolução. Começaram com a publicação na internet de mapas estáticos em formatos gráficos (PDF, GIF, JPEG) e evoluíram para verdadeiros SIG.

Esta evolução natural criou inúmeras ferramentas WebGIS disponíveis, desde os simples visualizadores de mapas estáticos, passando por soluções de disponibilização de informação geográfica de forma interativa, até verdadeiros SIG

distribuídos pela internet, com capacidades de análise e pesquisa espacial. Os próprios componentes *open source* disponíveis demonstram não só o nível de sofisticação que os produtos WebGIS alcançaram nos últimos anos mas, que os SIG podem deixar de ser considerado tecnologia elitista uma vez que existem soluções possíveis a baixo custo que permitem o acesso a uma tecnologia tradicionalmente vedada em virtude da sua complexidade técnica e alto custo (CALDEWEYHER et al., 2006).

A cartografia moderna, portanto, trata de um complexo processo de organização da informação geoespacial, acesso, visualização e utilização - com "mapas" que não são mais concebidos como um simples gráfico representativo do espaço geográfico, mas como dinâmicos portais para interligar e distribuir recursos de dados geoespaciais.

Atualmente os ambientes cartográficos na web são caracterizados por duas palavras-chave: interação e dinâmica. Enquanto os aspectos visuais de representação continuam a ser uma questão fundamental, o foco tanto na concepção cartográfica e pesquisa cartográfica agora se estendem a problemas na interação humano-computador e na habilitação de mapas dinâmicos.

A partir desta perspectiva, mapas projetados para suportar a visualização vão bem além de apresentação de informações para a exploração e construção do conhecimento. Com a exploração, inicia-se um processo interativo no qual o usuário começa sem hipóteses sobre os dados geoespaciais e as ferramentas de visualização o ajudam de maneira interativa a pesquisar livremente as estruturas e potencialidades do WebGIS com o objetivo de levá-lo a contruir suas hipóteses. Mapas e gráficos neste contexto fazem mais do que "tornar os dados visíveis", são instrumentos ativos no processo de pensamento dos usuários. Este tipo de interação baseada em mapas também suporta análises e informações originadas a partir de metadados (MacEACHREN; KRAAK, 2001).

2.6.1 Estratégias de Implementação de WebGIS

As estratégias de implementação de WebGIS assentam fundamentalmente em 3 tipos de arquiteturas: Baseadas no servidor, no cliente e arquiteturas híbridas

(FOOTE; KIRVAN, 1997). As estratégias baseadas no servidor permitem ao utilizador (cliente) realizar pedidos de dados e análise a um servidor. O servidor processa os pedidos e devolve os dados ou a solução ao cliente remoto (figura 15).



Figura 15 – Configuração baseada no servidor

Fonte: Adaptado de Foote e Kirvan (1997).

- 1 – O cliente envia um pedido ao servidor pelo seu *browser*
- 2 – O servidor processa o pedido e envia a informação para um *script CGI*
- 3 – O resultado é devolvido ao servidor
- 4 – O servidor envia a resposta ao cliente
- 5 – O cliente visualiza a informação no seu *browser*

A estratégia baseada no servidor (tabela 2) foca-se no fornecimento de dados e análises de pedido, por intermédio de um servidor que tem acesso aos dados e *softwares* necessários para processar esses dados. É uma arquitetura de alguma forma comparável à arquitetura tradicional presente nos SIG de mainframe que trabalhavam em redes locais. Esta estratégia depende da capacidade dos usuários realizarem pedidos a um *software* SIG por intermédio de um servidor pela internet e requer um poder de processamento baixo por parte do cliente, apenas necessita que ele tenha a capacidade de submeterem pedidos e visualizar respostas (FOOTE; KIRVAN, 1997). Os programas que permitem o pedido dos usuários podem ser escritos em diversas linguagens de programação que incluem o *Perl*, *Visual Basic*, *C++*, entre outras. É também possível adquirir *software* que ligue diretamente o servidor a um *software* SIG existente.

Tabela 2 – Repartição das tarefas numa configuração baseada no servidor.

Tarefas do Servidor	Tarefas do Cliente
Navegação	Visualização
Pesquisa	
Análise	
Desenho de mapas	

Fonte: Adaptado de Foote e Kirvan (1997).

As estratégias baseadas no cliente permitem ao utilizador manipular os dados e realizar análises localmente no seu computador. Estas aplicações tentam dividir o trabalho de processamento entre o servidor e o cliente, sendo por isso por vezes designada por “cliente forte”. Algumas das ferramentas do SIG são descarregadas para o cliente e os dados são processados no computador deste (tabela 3).

Tabela 3 – Repartição das tarefas numa configuração baseada no cliente

Tarefas do Servidor	Tarefas do Cliente
Pesquisa	Visualização
Análise	Navegação
Desenho de mapas	Pesquisa

Fonte: Adaptado de Foote e Kirvan (1997).

Existem duas variantes da arquitetura baseada no cliente (figura 16):

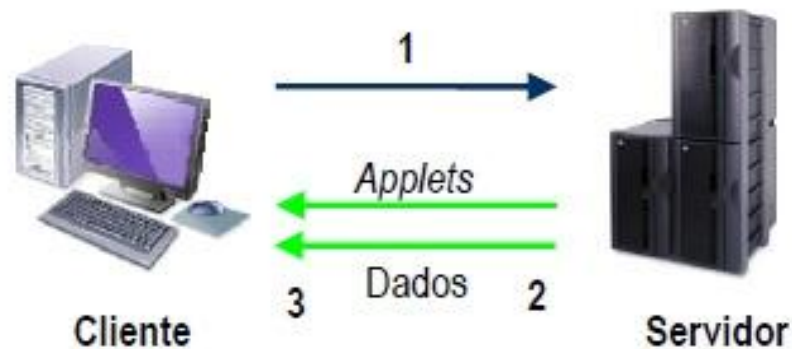
A - *Applets* SIG distribuídos a pedido ao cliente;

B - *Applets* SIG e aplicações *plugin* que residem no cliente de forma permanente ou semi-permanente.

Na primeira variante as capacidades SIG são fornecidas sob a forma de pequenos programas ou aplicativos (estes programas podem ser escritos em *Java*, *JavaScript* ou *ActiveX* que rodam no cliente, sendo estes entregues ao usuário à medida que são solicitados. Uma vez feita a descarga dos dados e dos aplicativos a

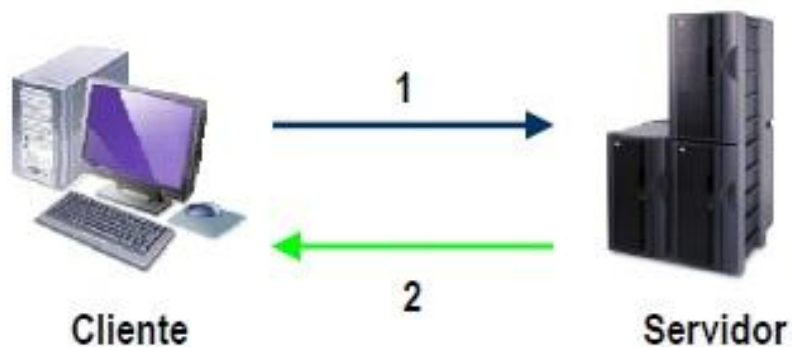
partir do servidor, o usuário tem a liberdade de trabalhar independentemente do servidor. Os pedidos e respostas deixam de ter que passar pela internet (FOOTE; KIRVAN, 1997). A transferência de dados e aplicativos pela internet pode ser demorada, especialmente se a aplicação é usada frequentemente. A segunda variante da arquitetura baseada no cliente pressupõe a transferência de aplicativos e plug-in para o computador do cliente de forma permanente ou semipermanente, evitando os constantes *downloads*.

A)



- 1 – O cliente envia um pedido ao servidor
- 2 – O servidor processa o pedido e devolve a informação pedida
- 3 – Os dados são processados no computador do cliente

B)



- 1 – O cliente envia um pedido ao servidor
- 2 – O servidor processa o pedido e devolve a informação pedida

Figura 16 – Configurações baseadas no cliente

Fonte: Adaptado de: Foote e Kirvan (1997).

Existem ainda as soluções híbridas combinam os processos do servidor e do cliente de forma a otimizar a performance respondendo a necessidades específicas dos utilizadores (figura 17).

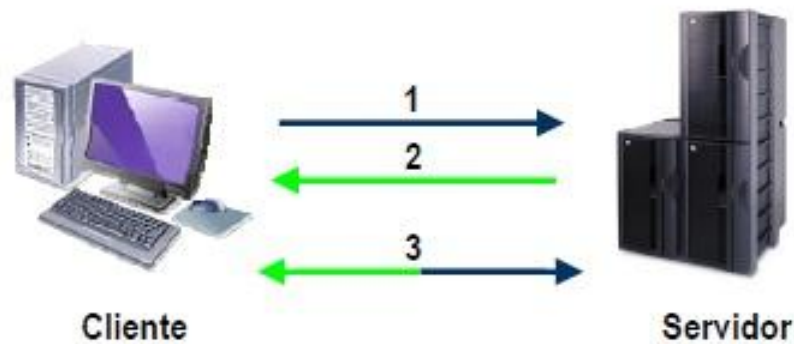


Figura 17 – Configuração híbrida

Fonte: Adaptado de Foote e Kirvan (1997).

Cada uma das diferentes abordagens (servidor, cliente e híbridas) apresenta os seus pontos fortes e pontos fracos. Na arquitetura baseada no servidor, os mapas gerados são transferidos sob a forma de imagens gráficas em formatos como o GIF e JPEG, estas podem ser visualizadas em qualquer *browser* o que pode minimizar os requisitos do cliente, por outro lado esta abordagem pode levar a um fraco desempenho nas interações com os utilizadores e muitos pedidos podem bloquear o servidor.

Por outro lado a estratégia baseada no cliente desloca muito das interações do usuário e manipulação de dados para o lado do cliente o que melhora consequentemente o desempenho nas interações com o usuário, o que provoca outro tipo de problemas como tráfego muito elevado na internet e incompetência no processamento de dados mais complexos.

2.6.2 Soluções WebGIS Relacionadas à Gestão Territorial e AP

Independente do domínio da aplicação, a utilização dos SIGs já não se encontra restrita aos especialistas. A diversidade de clientes compreende desde cientistas, tomadores de decisão até o público em geral. Usuários estes que podem visualizar e manipular os dados provenientes de diversas fontes e apresentados de maneira clara e transparente, realizar pesquisas e análises complexas através do cruzamento de informações cujos resultados são apresentados através de mapas, e que por sua vez podem apontar eventuais problemas ou necessidades e permitir a tomada de melhores decisões. No ramo de gestão territorial a utilização dos WebGIS é feita nos diferentes domínios de aplicação que vão desde o monitoramento do NDVI até o monitoramento agrícola nacional.

As agências norte-americanas *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e *National Agricultural Statistics Service* (NASS) apresentam uma solução WebGIS chamada *VegScape – Vegetation Condition Explorer* que tem como objetivos melhorar a objetividade, robustez, quantificação e o monitoramento da condição das culturas no âmbito nacional dos EUA (MUELLER, 2013).

O VegScape fornece ferramentas para visualização e exploração de dados, conforme figura 18, e divulga publicamente o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) de todo o território dos EUA em períodos diários, semanais e quinzenais. O Índice de Vegetação é calculado a partir de dados do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) com 250 m de resolução espacial. A base para o desenvolvimento do WebGIS são padrões geoespaciais abertos e aplicativos web como *OpenLayers*, *MapFish* e *Ext JS* (MUELLER, 2013).

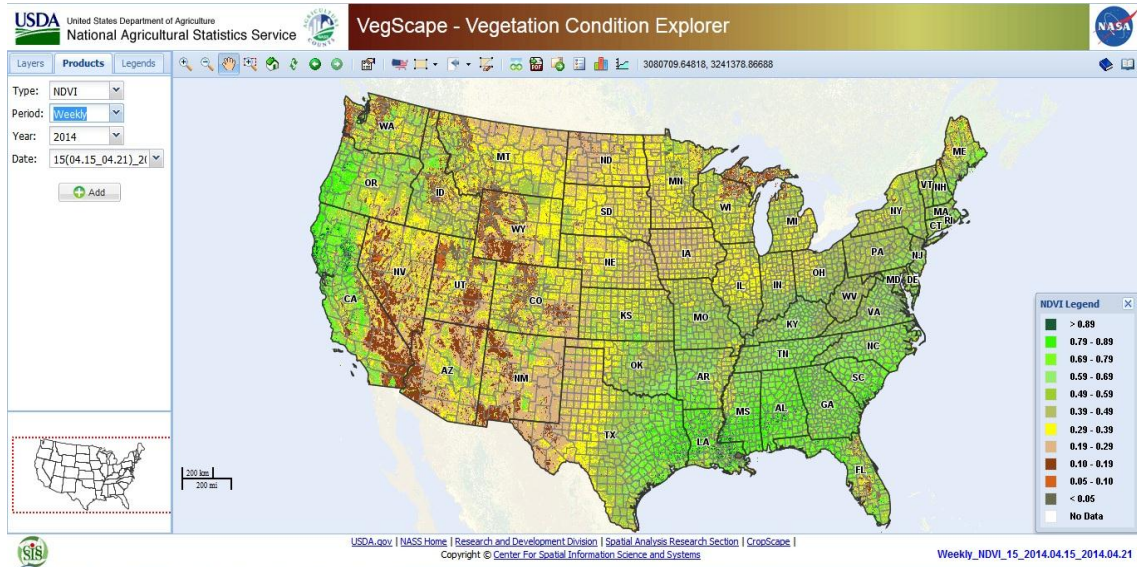


Figura 18 – Interface do VegScape (NDVI)

Fonte: <http://nassgeodata.gmu.edu/VegScape/>.

A NASA em conjunto com a NASS ainda possui um outro WebGIS conhecido como CropScape, construído utilizando os mesmos aplicativos web do anterior, que faz o monitoramento de áreas cultivadas em todo o território dos EUA. Assim como o VegScape, o CropScape (figura 17) fornece acesso aberto, ferramentas de visualização e análise geoespacial para a comunidade de usuários permitindo assim conectar pesquisadores do *United States Department of Agriculture* (USDA) com um público anteriormente inacessível (MUELLER, HARRIS, 2013).

Desde 1997, o NASS produz anualmente um mapa de cobertura do solo, provenientes dos dados de colheita, chamado *Cropland Data Layer* (CDL) que é formada por mais de 100 categorias de culturas existentes nos Estados Unidos. Os dados fornecidos são entregues com uma resolução espacial de 30 metros. A CDL é derivada usando uma abordagem de classificação de cobertura do solo supervisionado. Ele combina as imagens de satélite coletadas durante a estação de crescimento de tais sensores como *Landsat*, *Resourcesat*. Ele também combina dados de verdade terrestre agrícolas específicas de programas do USDA e verdade de campo não agrícolas através da *United States Geological Survey* (USGS) (MUELLER, HARRIS, 2013).

O produto CDL amadureceu desde a sua criação em 1997, com métodos, dados de campo, e precisões de identificação terras cultiváveis trazendo grandes melhorias, enquanto o portal CropScape expandiu o uso do produto a partir

principalmente da sinergia entre o SIG e aqueles usuários que tinham pouca ou nenhuma experiência relacionada com SIG, mas amplo conhecimento da indústria agrícola.

Por sua capacidade de avaliar as mudanças e analisar a rotação de culturas de rotação, os usuários finais do CropScape e CDL estão utilizando os produtos CDL nas mais variadas pesquisas como em estudos de sustentabilidade agrícolas, para as questões ambientais, avaliações de conversão do solo, rotação de culturas, de apoio à decisão, desastres, levantamentos de agricultores, de carbono, bioenergia, ecologia e biodiversidade. No entanto, há um segmento da comunidade de usuários que está usando-o para apoio à decisão do agronegócio, bem como para fins financeiros e de seguros (MUELLER, HARRIS, 2013).

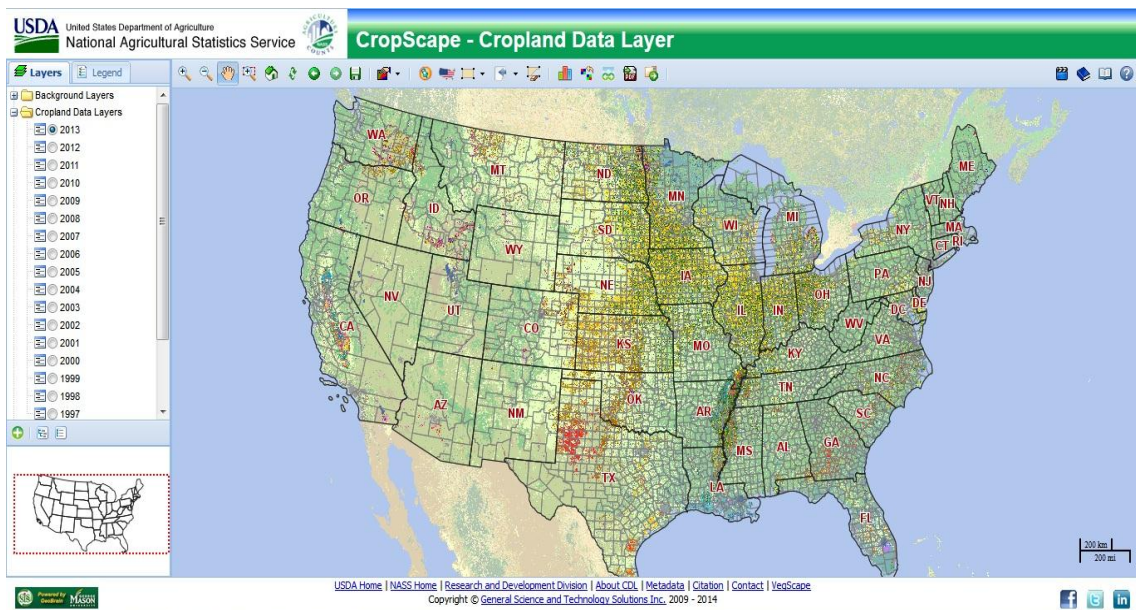


Figura 19 – Interface CropScape (Produção Agrícola - EUA)

Fonte: <http://nassgeodata.gmu.edu/CropScape/>.

No âmbito brasileiro existem diversos WebGIS relacionados ao tema da agropecuária e entre eles o SOMABrasil, desenvolvido e gerenciado pela Embrapa Monitoramento por Satélite em Campinas/SP, é um dos mais reconhecidos atualmente e citado por revistas especializadas em geoprocessamento como exemplo a revista MundoGEO.

O SOMABrasil tem por objetivo organizar, integrar e disponibilizar bases de dados geoespaciais via web, por meio de ferramentas de análises espacialmente explícitas e de visualização dinâmica, contribuindo para o entendimento das mudanças de uso e cobertura da terra. Conforme a figura 20 a interface do WebGIS permite ao usuário interagir com as bases de dados por meio de consultas básicas e avançadas para gerar informações úteis a zoneamentos, monitoramentos da dinâmica espacial da agropecuária, prioridades para a pesquisa e as políticas públicas (EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE, 2014).



Figura 20 – Interface do SOMABrasil (Embrapa Monitoramento por Satélite)

Fonte: <http://mapas.cnpm.embrapa.br/somabrasil/webgis.html>.

A preparação, organização e publicação das bases espaciais do Brasil por meio de uma interface WebGIS baseou-se em duas principais fases de trabalho:

- 1) definição da arquitetura de armazenamento, organização e acesso aos dados e;
- 2) obtenção, preparação, inserção e publicação dos planos de informação no WebGIS SOMABrasil.

A definição da arquitetura do sistema levou em consideração a utilização de *software* livre, de domínio público e em padrões de interoperabilidade de dados espaciais definidos pelo *Open Geospatial Consortium* (OGC) que estabelecem formas de armazenamento e acesso padronizado aos dados. O sistema de banco de

dados utilizado é o *PostgreSQL/PostGIS* juntamente com o servidor de dados geospaciais *GeoServer*. Todos os planos de informações inseridos no sistema são organizados e padronizados em uma mesma projeção cartográfica. A publicação dos planos de informações é feita através do servidor de dados geospaciais *GeoServer*, permitindo fácil interoperabilidade entre sistemas de geoprocessamento. Entre os padrões aceitos pelo *software*, destacam-se: *Web Map Service (WMS)*, *Web Feature Service (WFS)* e *Web Coverage Service (WCS)*. A figura 21 apresenta o fluxograma de desenvolvimento do SOMABrasil.

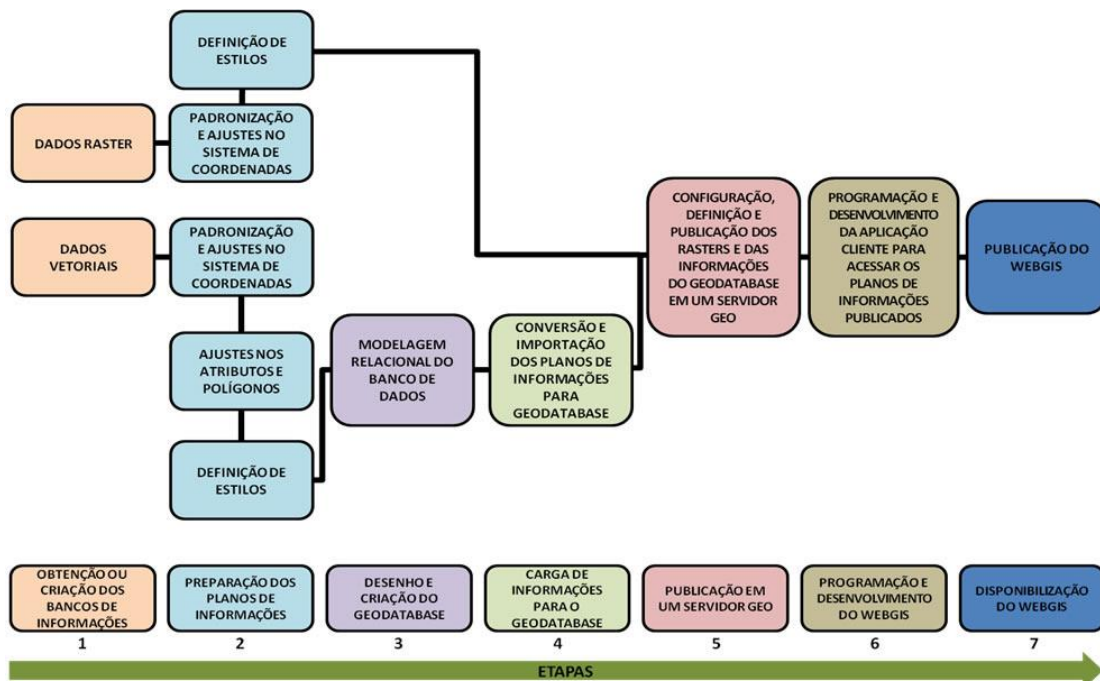


Figura 21 – Fluxograma de desenvolvimento do WebGIS SOMABrasil

Fonte: Embrapa Monitoramento por Satélite (2014).

2.7 Interoperabilidade

Os mapas na web estão constantemente se moldando às características da comunicação via rede, fato que demanda a integração e o compartilhamento das informações. A conjugação destas duas metas, no meio computacional, é denominada de interoperabilidade. Esta é baseada em dois processos distintos: padronização e sistematização. Em decorrência da sua veiculação na web, constata-se que o volume de mapas produzidos aumentou exponencialmente e suas

funcionalidades se ampliaram. No entanto, parte dos termos relacionados aos mapas se tornou efêmero em virtude das constantes inovações oriundas do desenvolvimento tecnológico. Um dos principais desafios é tornar o conteúdo dos mapas compreensível universalmente, por homens e máquinas por isso as Infraestruturas de Dados Espaciais (IDEs), os mapas colaborativos, a diversificação das estratégias de localização, a *Digital Earth* e a computação em nuvens revelam-se importantes tendências de desenvolvimento (QUEIROZ FILHO; GIANNOTTI, 2012).

Para Goodchild et al. (1997), interoperabilidade é a capacidade que um sistema tem de compartilhar e trocar informações. Seus principais objetivos são:

- Tornar aberta a estrutura interna dos arquivos de dados;
- Viabilizar a conversão de dados entre os programas;
- Popularizar a interação com o usuário.

A interoperabilidade permite que diversas organizações forneçam dados geográficos via web, independentemente das suas escolhas tecnológicas, processos de produção, ou cultura interna (DAVIS JUNIOR et al., 2009). A interoperabilidade pode ser definida como a capacidade de um sistema ou de seus componentes para compartilhar informações e aplicações, independentemente da sua heterogeneidade (BISHR, 1998). Em decorrência, a interoperabilidade se caracteriza por dois processos distintos: a padronização dos componentes e a sistematização de termos e conceitos, como ilustram a figura 22.



Figura 22 – Representação dos processos da interoperabilidade de mapas na Web

Fonte: Queiroz Filho e Giannotti (2012).

No contexto dos mapas, a padronização extrapola os seus atributos intrínsecos como escala, projeção e coordenadas e assume distintas denominações, das quais se destacam: metadados e serviços geográficos da web. A sistematização de conceitos e termos está associada à web semântica e se manifesta nas pesquisas sobre ontologias.

As iniciativas mais importantes de padronização de dados geoespaciais são coordenadas por instituições internacionais (QUEIROZ FILHO; GIANNOTTI, 2012). Destacam-se:

- A *International Organization for Standardization* (ISO). É o maior colaborador mundial para edição de padrões e normas internacionais. Foi estabelecida em 1947 e conta com uma rede de institutos nacionais de normalização de 161 países (ISO, 2014).
- O W3C (*World Wide Web Consortium*), consórcio internacional fundado por Tim Berners Lee em 1994 que desenvolve padrões para tecnologias visando garantir o crescimento da web em longo prazo (CONSÓRCIO WORLD WIDE WEB, 2011).
- O FGDC (*Federal Geographic Data Committee*) é um comitê inter-agências que coordena o desenvolvimento, utilização, compartilhamento e disseminação de dados geoespaciais (ESTADOS UNIDOS, 2008).
- O OGC (*Open Geospatial Consortium*) é uma organização sem fins lucrativos, formada por membros das comunidades internacionais e voluntários que desenvolvem padrões para dados e serviços baseados em localização espacial. Fundada em 1994, é uma entidade formada por quatrocentas e setenta e quatro companhias, agências governamentais e universidades (OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM, 2014).

2.7.1 Metadados

Metadados são dados que descrevem outros dados. Muitas vezes, descreve de onde os dados de mapeamento vieram, como ele pode ser usado, o que ele contém, e quem contactar com perguntas a respeito de suas demais características ou qualidades. O objetivo é facilitar a gestão do uso das informações. Como os

dados cada vez mais se tornam disponíveis através da internet, a necessidade de catalogar a informação é essencial. Atualmente já existem serviços que realizam buscas e catalogam fontes de dados on-line para que outros possam encontrá-los facilmente (MITCHELL, 2005).

Embora o termo metadado hoje seja mais utilizado no ambiente dos Sistemas de Informações e da Tecnologia da Informação, o seu real conceito é bem mais amplo, pois é compreendido com informação estruturada que descreve esquemas de dados ou informação (MOURA, 2005). Há pouco tempo os metadados não eram considerados requisitos básicos, todavia atualmente tornou-se quase imprescindível, tanto que já existem grandes Infraestruturas Nacionais de Dados Geoespaciais (IDEs) que compartilham dados e permitem buscas por meio dos metadados existentes nas bases de dados.

Segundo Nebert (2004), o termo *Spatial Data Infrastructure* (SDI), ou em português, Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) é aplicado frequentemente ao conjunto de tecnologias, políticas e acordos entre instituições, que visam facilitar a disponibilidade e o acesso a dados espaciais. A IDE fornece a base para a descoberta dos dados espaciais, a sua avaliação e utilização, a todos os níveis de governo, de instituições comerciais e não comerciais, setor acadêmico e cidadãos em geral.

Os metadados geográficos, como informações primordiais na sistematização dos dados, são usados para garantir a interoperabilidade e permitem avaliar se a estrutura dos dados de uma origem é compatível com outro formato, bem como se os modelos são ajustáveis com a necessidade de descrição da informação (WEBER et al., 1999).

Segundo a Infraestrutura de Dados da Espanha (ESPANHA, 2014), o estabelecimento de uma IDE, a nível local, regional, estatal ou global, requer o acordo dos produtores, detentores e utilizadores dos dados espaciais no âmbito territorial definido. O acordo deve ter também em atenção as IDE definidas (ou em definição) noutros níveis territoriais, com os quais deve convergir. Ainda de acordo com o mesmo autor, a justificativa para o estabelecimento de uma IDE está ligada a duas ideias fundamentais:

- A necessidade de acesso de forma fácil, cômoda e eficaz aos dados geográficos existentes. Até agora, e por vários motivos, a Informação Geográfica tem sido um recurso com custos de produção elevados e de

difícil acesso: formatos, modelos, políticas de distribuição, falta de informação;

- A oportunidade de reutilizar a Informação Geográfica produzida num projeto para outras finalidades diferentes, considerando os seus elevados custos de produção.

No âmbito regional europeu a *Infrastructure for Spatial Information in the European Community* (INSPIRE) entrou em vigor em 15 de Maio de 2007. A diretiva INSPIRE visa criar uma infraestrutura de dados espaciais da União Européia. Isto permite a partilha de informação geográfica ambiental entre organizações do setor público e melhor facilitar o acesso do público à informação espacial na Europa. Os componentes dessa infraestrutura incluem dados espaciais e respectivos metadados, serviços de dados espaciais, serviços e tecnologias de rede e comunicações, acordos sobre a partilha, acesso e uso dos dados, mecanismos de coordenação e monitoramento, e ainda procedimentos. O seu objetivo é estabelecer um quadro legal para a criação gradual e harmonizada de uma infraestrutura europeia de informação geográfica.

Esta iniciativa incide inicialmente nas necessidades de informação geográfica para as políticas ambientais, mas sendo uma iniciativa de natureza inter-setorial, expandir-se-á gradualmente para os outros setores como agricultura, transportes, à medida que outros serviços da comissão passarem a participar na iniciativa. Estes serviços deverão permitir a qualquer utilizador identificar e acessar a informação geográfica proveniente de diversas fontes, desde o nível local até ao nível global, de um modo interoperável e para uma grande variedade de utilizações (INSPIRE, 2014).

O Brasil seguindo os mesmos padrões e princípios de vários países e vislumbrando a necessidade de interoperabilidade entre sistemas e a reutilização de dados criou o Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil (Perfil MGB) a partir da iniciativa da Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR), em parceria com grandes instituições brasileiras que produzem e utilizam dados geoespaciais (COMISSÃO NACIONAL DE CARTOGRAFIA, 2009). A importância da interoperabilidade motivou o Ministério do Planejamento a instituir em 2008 a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) que por definição é um conjunto integrado de tecnologias; políticas; mecanismos e procedimentos de coordenação e monitoramento; padrões e acordos, necessário para facilitar e ordenar a geração, o

armazenamento, o acesso, o compartilhamento, a disseminação e o uso dos dados geoespaciais de origem federal, estadual, distrital e municipal (BRASIL, 2014).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Tecnologia Utilizada na Implementação do WebGIS

O processo de escolha da solução a adotar para implementação de uma plataforma WebGIS requer que alguns fatores sejam considerados, sendo que a importância de cada fator depende do ponto de vista da análise. Os responsáveis pela instituição normalmente valorizam fatores como os custos de aquisição, manutenção do *software* e formação dos técnicos enquanto os responsáveis pelo SIG os fatores mais importantes são as funcionalidades disponibilizadas, os procedimentos de implementação e de utilização e a conectividade e interoperabilidade da solução (PENG; TSOU, 2003). Contudo, o fundamental é garantir que a aplicação atenda aos objetivos propostos, considerando o tipo de informação que deseja disponibilizar.

Como visto anteriormente, existem diversos *softwares* SIG disponíveis, de diferentes tipos e a diferentes níveis, com algumas características similares e outras distintas, permitindo que conforme as especificidades do WebGIS que se pretende implementar, se escolham os *softwares* mais apropriados.

No caso do WebGIS do presente trabalho, antes de se iniciar o desenvolvimento e a implementação, fez-se a pesquisa de aplicações semelhantes em funcionamento e também uma avaliação das ferramentas e dos requisitos necessários. Assim, foi possível definir as seguintes características e funcionalidades que o sistema deve apresentar:

- Uso de *softwares Free* ou *open source* (a nível de dados, servidor e cliente) para que o sistema seja implementado como uma solução de baixo custo ou de custo zero de manutenção, devido a restrições financeiras.
- Os *softwares* devem ser desenvolvidos em conformidade com as especificações para serviços WebGIS criadas pelo OGC e devem apresentar ferramentas de suporte (documentação para utilizadores e desenvolvedores, livros, fóruns, etc.)

- O sistema deve apresentar facilidade de implementação ao nível técnico e a utilização de aplicações já construídas o que permite focar as atenções mais no problema específico a que se destina o WebGIS e não tanto em detalhes mais técnicos do foro da programação.
- Da mesma forma, o sistema deve apresentar uma interface gráfica amigável e ser de fácil utilização, uma vez que tem como alvo usuários sem experiência prévia no uso de ferramentas e metodologias SIG.
- O sistema deve apresentar as ferramentas necessárias para facilmente permitir a definição de critérios de consultas por qualquer um dos futuros utilizadores.

Deste modo, é importante salientar que a análise de alguns fatores, na escolha dos *softwares*, esteve sujeito a alguma subjetividade e experiência anterior.

A nível de armazenamento de dados, foi considerada uma base de dados relacional *open source* apresentada, no ponto 2.5.2.2, nomeadamente *MySQL*. Por sua rapidez e robustez, o *MySQL* foi escolhido como o SGBD para o armazenamento de dados alfanuméricos e espaciais, mais precisamente, dados vetoriais, uma vez que o suporte para dados espaciais matriciais é ainda bastante incipiente e por isso, todos os dados matriciais são armazenados em arquivos separados.

O presente projeto não contou com um servidor dedicado de mapas como, por exemplo, o *MapServer* ou *GeoServer*. Ao se fazer esta escolha considerou-se o fato de existirem aplicações para internet pré-configuradas designadas por *frameworks* que permite a configuração automática de um servidor *Apache* para ambiente *Microsoft Windows*, portanto, o servidor web utilizado foi o *software Apache* presente no *host DreamHost*, local de hospedagem do domínio *labeco.org* que por sua vez gerencia o WebGIS. O *Apache* é *open source* e um dos mais usados no mundo, com muito bom desempenho e estabilidade. Estas opções podem ser um fator restritivo nas escolhas da fase de desenvolvimento, mas aumentam em muito a produtividade do projeto WebGIS, permitindo a sua criação e implementação num período relativamente curto.

O servidor é a componente do sistema que faz a ponte entre a base de dados, neste caso *MySQL* e o usuário. Esta gestão é feita por intermédio de um *framework*. O usuário executa a manipulação e análise de dados remotamente no seu próprio computador por intermédio do seu *browser* de internet.

Existem diversos *frameworks* pré-configurados que funcionam associados ao servidor criando uma interface para o usuário que, além da visualização da informação geográfica, disponibiliza um conjunto de funcionalidades para o manuseio dessa informação. Para o WebGIS proposto adotou-se o *OpenLayers*, devido às suas características e por permitir focalizar nas questões específicas a que se destina o WebGIS e não tanto em detalhes mais técnicos relacionados a programação.

O *OpenLayers* em conjunto com as ferramentas *GeoExt* e *Ext JS* incorporam a capacidade de rapidamente configurar novas aplicações a partir de um conjunto de *widgets* que são componentes de interface como janelas, botões, menus e ícones que podem ser colocados num arquivo HTML. Estes elementos fornecem uma parte fixa de funcionalidades, mas a representação do *widget* é em geral altamente configurável. É também bastante extensível, pois os desenvolvedores podem criar seus próprios *widgets* personalizados e usá-los em aplicações de mapeamento (OPEN SOURCE GEOSPATIAL FOUNDATION, 2014).

3.2 Descrição da Área Piloto

A área utilizada como piloto no desenvolvimento do WebGIS proposto pertence à Embrapa Pecuária Sul, encontra-se nos municípios de Bagé e Hulha Negra no estado do Rio Grande do Sul e perfaz um total de 2783 Ha, dividida em 5 glebas e mais de 100 subdivisões (potreiros) onde são realizadas atividades de agricultura, agricultura de precisão, pecuária, estudos do solo, agroecologia, integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), entre outras. A figura 23 mostra a classificação da vegetação na área total da Unidade realizada no *software* SPRING.

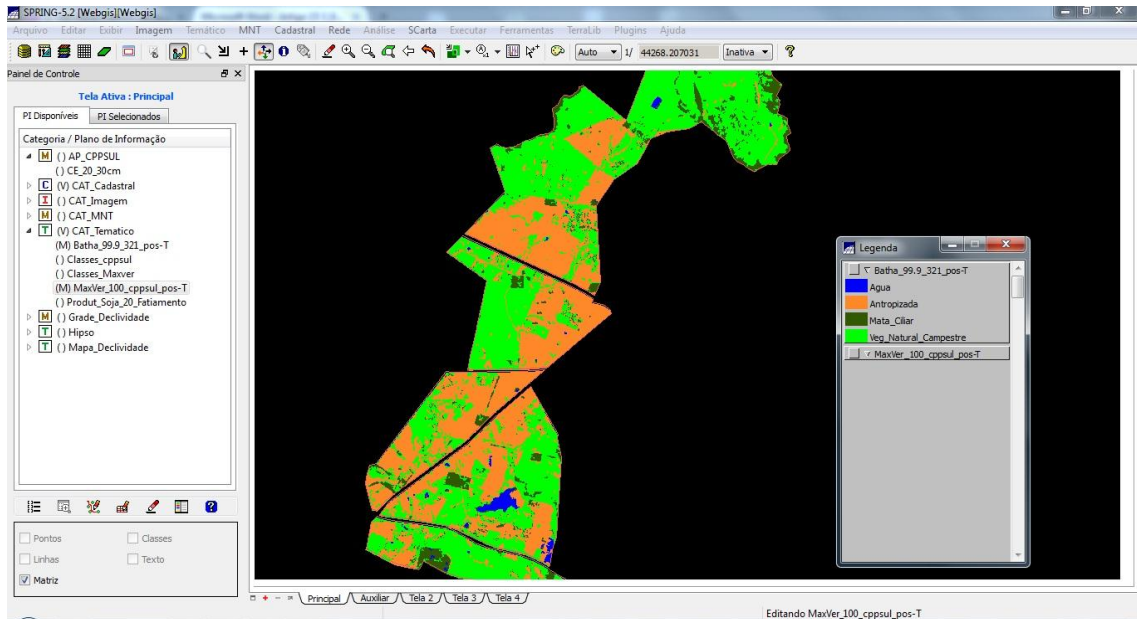


Figura 23 – Interface do SPRING (Classificação da Vegetação).

Fonte: Do Autor.

3.3 Camadas de Informações

Os dados e a informação são a essência de qualquer projeto SIG. Se estes forem insuficientes ou inapropriados, podem comprometer o sucesso do projeto. O *WebGIS* incorpora dados dos tipos matricial e vetorial. No grupo dos matriciais incluem-se os MDT, declive, hipsometria e classificação da vegetação. No segundo grupo, dos vetoriais, encontram-se os inicialmente *Shapefiles* que foram carregadas para a base de dados após serem transformados para o formato *GeoJSON*. Segue a lista das camadas presentes atualmente no WebGIS:

- Declividade: Derivada de processamento de dados do sensor ASTER;
- Hipsometria: Derivada de processamento de dados do sensor ASTER;
- Classificação da Vegetação: Derivada de classificação de imagens obtidas pelo satélite *RapidEye* no dia 16 de agosto de 2013;
- Corpos D'Água: Obtido através um arquivo .dwg derivado de levantamento geodésico para fins de georreferenciamento de todos os campos experimentais;
- Produtividade da Soja em 2010: Potreiro 20.

- Limites da Embrapa Pecuária Sul: Obtido através um arquivo .dwg derivado de levantamento geodésico para fins de georreferenciamento de todos os campos experimentais;
- Limites do experimento no potreiro 30: Obtido através de arquivo dwg derivado de levantamento topográfico realizado com GPS de navegação em 2012;
- Condutividade Elétrica (Potreiro 20, medida a 30 cm de profundidade): Levantamento de campo realizado em 2012;
- Condutividade Elétrica (Potreiro 20, medida a 90 cm de profundidade): Levantamento de campo realizado em 2012;
- Condutividade Elétrica (Potreiro 21, medida a 30 cm de profundidade): Levantamento de campo realizado em 2012;
- Condutividade Elétrica (Potreiro 21, medida a 90 cm de profundidade): Levantamento de campo realizado em 2012;

Esses dados foram agrupados em “árvores” segundo a sua área temática ou tipo de informação com o objetivo de melhorar a navegação dos usuários no WebGIS.

O sistema de referência usado em todo o WebGIS foi o datum WGS-84 com código EPSG:4326. O *OpenLayers* faz uma transformação para a projeção Esférica de Mercator que possui o código EPSG: 900913. A projeção Esférica de Mercator não possuía um código EPSG até que as APIs do *Google* começaram e utilizá-la e então foi criado este código temporariamente. Atualmente, muitos outros serviços de mapas da web como *OpenStreetMap*, *Bing* e *Yahoo* utilizam esta projeção.

No desenvolvimento do WebGIS foram utilizadas camadas em diferentes escalas que permitem a visualização de uma área que abranja desde uma visão do enquadramento de município (aproximadamente 1/100.000), até uma escala que permita a identificação de feições relacionada com as infraestruturas de potreiros, como pontos amostrais alocados em uma área específica, como por exemplo os pontos relativos à produtividade da soja no potreiro 20 no ano de 2010 que só podem ser visualizadas de forma apropriada numa escala próxima de 1/20.000.

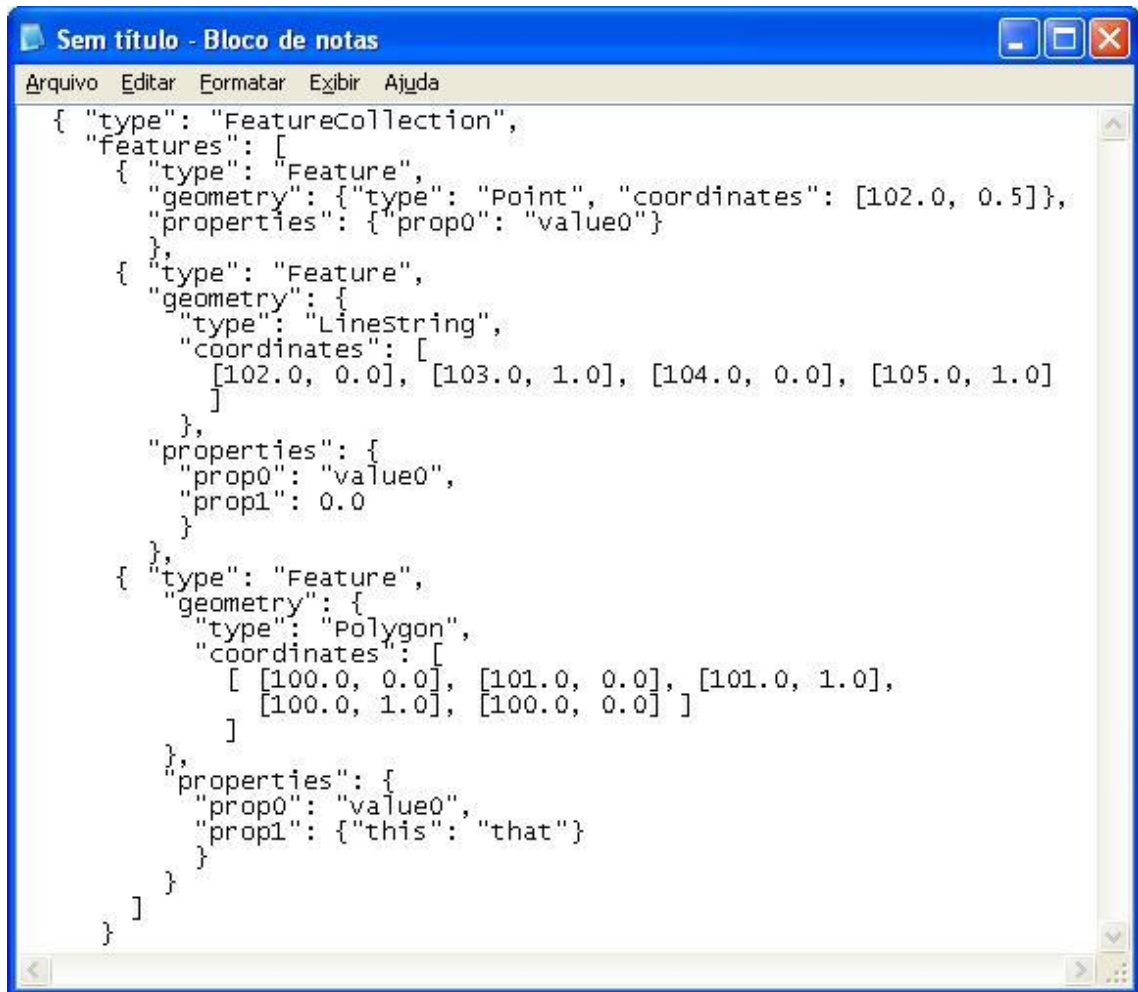
Devido à essa considerável amplitude da escala de visualização, foi estabelecido, para cada elemento gráfico, um intervalo de visualização, ou seja, para determinados elementos a visualização só é disponibilizada a nível de potreiro e não

de município. As escalas mínimas e máximas para visualização das camadas foram configuradas de tal maneira a apagar a camada quando afasta-se demais o mapa evitando a poluição visual.

A escolha da representação gráfica da informação considerou o fato de a aplicação ser disponibilizada a um grupo pouco familiarizado com os SIG e também da informação estar disponível em camadas incorporando grande quantidade de informação e de entidades geográficas. Nos elementos geográficos representados pela área fez-se uso de cor e à transparência, de forma a permitir a visualização da informação nas camadas inferiores.

Todas as camadas inseridas no WebGIS foram tratadas e processadas nos softwares SPRING e Quantum SIG. Após a edição vetorial e das tabelas, as camadas foram convertidas para o formato *GeoJSON* que é um formato de intercâmbio de dados geoespaciais baseado em *JavaScript Object Notation* (JSON).

GeoJSON é um formato de codificação de uma variedade de estruturas de dados geográficos. Um objeto *GeoJSON* pode representar uma geometria, uma feição, ou um conjunto de feições. *GeoJSON* suporta diversos tipos de geometrias como: pontos, linhas, polígonos, multipontos, multilinhas, multipolígonos e coleções de geometrias. Os arquivos no formato *GeoJSON* contém, além da geometria objeto, propriedades adicionais que podem conter uma lista de características. A estrutura completa de dados *GeoJSON* é sempre um objeto (em termos JSON). Em *GeoJSON*, um objeto consiste de uma coleção de pares nome/valor - também chamado de membros conforme figura 24 (GEOJSON, 2014).



```

{ "type": "FeatureCollection",
  "features": [
    { "type": "Feature",
      "geometry": { "type": "Point", "coordinates": [102.0, 0.5] },
      "properties": { "prop0": "value0" }
    },
    { "type": "Feature",
      "geometry": {
        "type": "LineString",
        "coordinates": [
          [102.0, 0.0], [103.0, 1.0], [104.0, 0.0], [105.0, 1.0]
        ]
      },
      "properties": {
        "prop0": "value0",
        "prop1": 0.0
      }
    },
    { "type": "Feature",
      "geometry": {
        "type": "Polygon",
        "coordinates": [
          [ [100.0, 0.0], [101.0, 0.0], [101.0, 1.0],
            [100.0, 1.0], [100.0, 0.0] ]
        ]
      },
      "properties": {
        "prop0": "value0",
        "prop1": { "this": "that" }
      }
    }
  ]
}

```

Figura 24 – Modelo de Arquivo GeoJSON

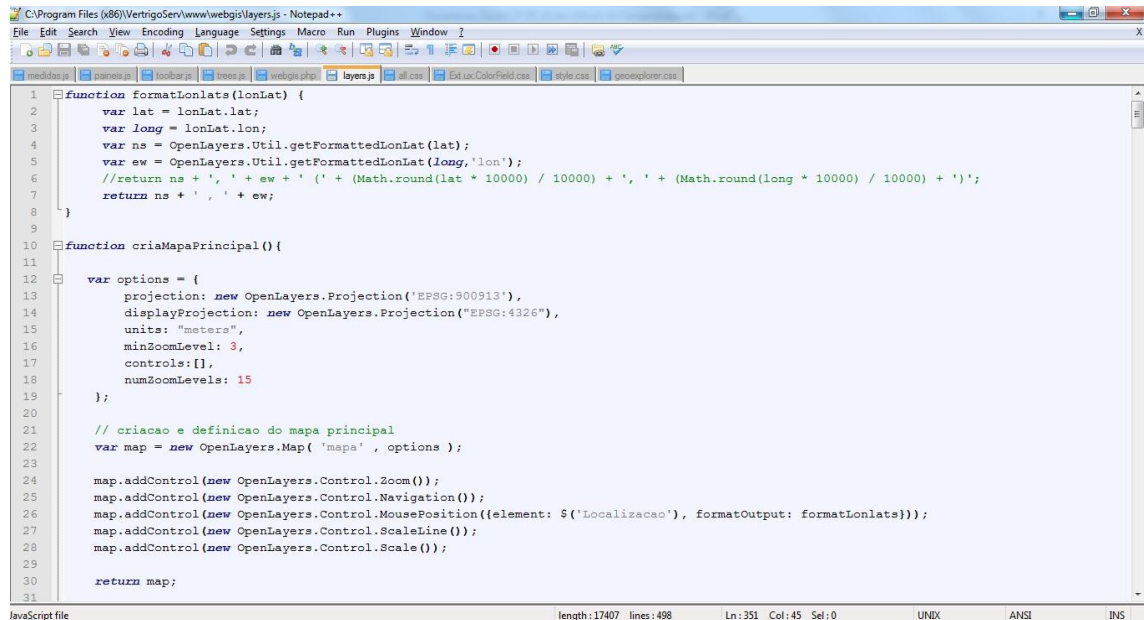
Fonte: Geojson (2014).

Após a conversão para o formato GeoJSON, as camadas de dados foram alocadas em uma mesma pasta denominada “layers” que o *OpenLayers* referencia no código do WebGIS e o servidor de dados busca a cada solicitação dos clientes (usuários). Vale ratificar que, por se tratar de um protótipo, a inserção de novas camadas, as atividades de levantamento, processamento e atualização dos dados são continuamente realizados no projeto.

3.4 Desenvolvimento do WebGIS

Para o desenvolvimento do WebGIS foram utilizadas as tecnologias citadas na seção 3.1, todavia o presente tópico visa detalhar a programação e a ligação

entre os arquivos que conjuntamente operacionalizam o WebGIS. O programa NotePad++ versão 5.9.8 (figura 25) foi utilizado para realizar a programação do aplicativo web.



```

1 function formatLonlats(lonLat) {
2   var lat = lonLat.lat;
3   var long = lonLat.lon;
4   var ns = OpenLayers.Util.getFormattedLonLat(lat);
5   var ew = OpenLayers.Util.getFormattedLonLat(long, 'lon');
6   //return ns + ', ' + ew + ' (' + (Math.round(lat * 10000) / 10000) + ', ' + (Math.round(long * 10000) / 10000) + ')';
7   return ns + ', ' + ew;
8 }
9
10 function criaMapaPrincipal() {
11
12   var options = {
13     projection: new OpenLayers.Projection("EPSG:900913"),
14     displayProjection: new OpenLayers.Projection("EPSG:4326"),
15     units: "meters",
16     minZoomLevel: 3,
17     controls: [],
18     numZoomLevels: 15
19   };
20
21   // criacao e definicao do mapa principal
22   var map = new OpenLayers.Map( 'mapa' , options );
23
24   map.addControl(new OpenLayers.Control.Zoom());
25   map.addControl(new OpenLayers.Control.Navigation());
26   map.addControl(new OpenLayers.Control.MousePosition({element: $('Localizacao'), formatOutput: formatLonlats}));
27   map.addControl(new OpenLayers.Control.ScaleLine());
28   map.addControl(new OpenLayers.Control.Scale());
29
30   return map;
31

```

Figura 25 – Exemplo de Aplicação HTML e JavaScript utilizando NotePad++

Fonte: do Autor.

O programa tem suporte as mais diversas linguagens de programação e pode ser desenvolvido em forma visual e por código, o que é um grande diferencial dentre os softwares de programação.

Após o *download* das bibliotecas necessárias para o desenvolvimento do aplicativo, e alocação nas respectivas pastas no servidor, iniciou-se o processo de programação do WebGIS.

No processo interativo que ocorre na janela principal do WebGIS, a obtenção dos resultados é consequência do processo de armazenamento de informações e relacionamento entre diversos arquivos e pastas, portanto um passo importante no momento da programação é a alocação dos recursos em pastas e arquivos da maneira mais simples e intuitiva possível. A figura 26 apresenta a estrutura de pastas e arquivos utilizados pelo WebGIS.

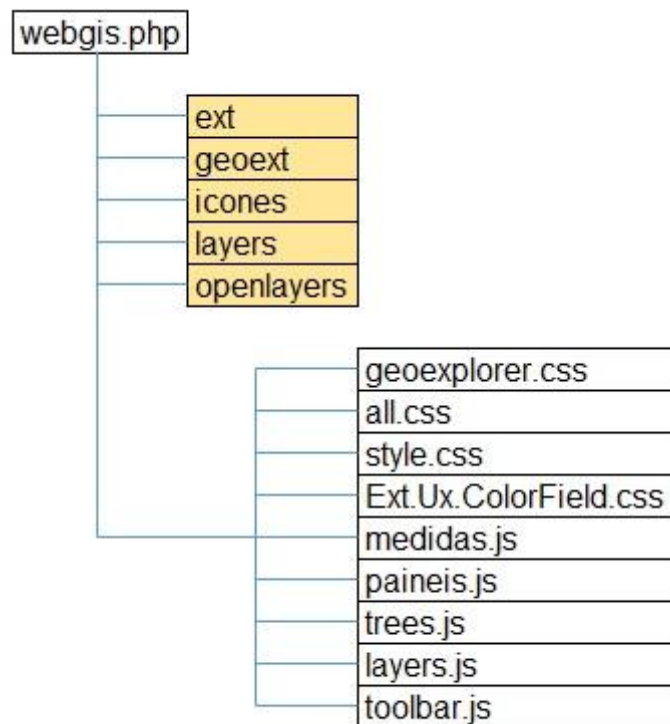


Figura 26 – Estrutura organizacional e funcional do sistema WebGIS

Fonte: do Autor.

Na figura 26 as caixas em amarelo representam pastas presentes na raiz do diretório de armazenamento, enquanto os demais arquivos encontram-se alocados diretamente na raiz, portanto o sistema *web* é composto por dez arquivos e cinco pastas em seu diretório raiz. Estes arquivos são responsáveis pelo acesso ao sistema, construção da interface, cálculos, além de processar as funções para a geração das informações.

As pastas “ext”, “geoext” e “openlayers” possuem as bibliotecas que são utilizadas por diversas funções do aplicativo. A pasta “ícones” contém os ícones ilustrativos utilizados na barra de ferramentas e a pasta “layers” armazena todas as camadas no formato GeoJSON.

No aplicativo WebGIS o arquivo “webgis.php” é o gestor do sistema e contém informações e configurações que controlam todas as demais funções, bibliotecas e arquivos que são úteis para garantir as funcionalidades do aplicativo. Na figura 27 pode-se observar o início do arquivo webgis.php.

```

4 <title>WEBGIS Labeco Embrapa Pecuária Sul</title>
5
6 <script src="http://dev.virtualearth.net/mapcontrol/mapcontrol.ashx?v=6.1"></script>
7
8 <script type="text/javascript" src="/webgis/ext/adapter/ext/ext-base.js"></script>
9 <script type="text/javascript" src="/webgis/ext/ext-all.js"></script>
10 <script type="text/javascript" src="/webgis/ext/ext-all-debug.js"></script>
11 <link rel="stylesheet" type="text/css" href="/webgis/ext/resources/css/ext-all.css" />
12 <script type="text/javascript" src="/webgis/openlayers/OpenLayers.js"></script>
13 <script type="text/javascript" src="/webgis/openlayers/lib/deprecated.js"></script>
14 <script type="text/javascript" src="/webgis/geoext/lib/GeoExt.js"></script>
15
16 <link rel="stylesheet" type="text/css" href="/webgis/geoexplorer.css" />
17 <link rel="stylesheet" type="text/css" href="/webgis/all.css" />
18 <link rel="stylesheet" type="text/css" href="/webgis/style.css" />
19
20
21 <link rel="stylesheet" href="/webgis/Ext.Ux.ColorField.css" />
22
23 <script type="text/javascript" charset="ISO-8859-1" src="/webgis/medidas.js"></script>
24 <script type="text/javascript" charset="ISO-8859-1" src="/webgis/painéis.js"></script>
25 <script type="text/javascript" charset="ISO-8859-1" src="/webgis/trees.js"></script>
26 <script type="text/javascript" charset="ISO-8859-1" src="/webgis/layers.js"></script>
27 <script type="text/javascript" charset="ISO-8859-1" src="/webgis/toolbar.js"></script>
28 <script>
29
30 // dispara o evento inicial quando a pagina é carregada
31 Ext.onReady(function() {
32
33     Ext.QuickTips.init();
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

```

Figura 27 – Parte do código webgis.php

Fonte: do Autor.

Conforme pode-se observar na figura 27, no início do código são declarados os endereços das funções *JavaScript* e dos arquivos de estilo *.css*.

Os arquivos “geoexplorer.css”, “all.css”, “style.css” e “Ext.Ux.ColorField.css” são utilizados para facilitar as configurações visuais, como o *design* dos painéis, árvores e barras de ferramenta. O padrão “css” é utilizado na padronização de fonte, margens e tamanho de texto.

No arquivo “medidas.js” estão programadas as configurações referentes aos cálculos de medidas lineares e áreas. O arquivo “painéis” delimita os painéis presentes na interface do WebGIS, utiliza basicamente a biblioteca *Ext JS*. A função “trees.js” configura as árvores de camadas presentes no painel lateral esquerdo do aplicativo. O arquivo “layers.js” contém todas as camadas carregadas no aplicativo, inclusive os *layers* de base do *Virtual Earth*. As configurações relativas às regras de cores, largura de linhas, opacidade inicial da camada são todas efetuadas neste arquivo. Por fim, o arquivo “toolbar.js” controla todas as funções presentes na barra de ferramenta do aplicativo.

4 RESULTADOS

4.1 Funcionalidades e Interface do WebGIS

Na presente dissertação desenvolveu-se um WebGIS específico para disponibilizar dados com correspondência geográfica e permitir o acesso e extração de informações presentes no sistema WebGIS através de um *browser*.

Para o desenvolvimento da aplicação em si, foram utilizadas as ferramentas pré-configuradas *OpenLayers*, *GeoExt* e *Ext JS*, que ao serem instaladas apresentam uma interface padrão, mas com possibilidade de alteração que exige modificação do código original. O *browser* utilizado para acessar o WebGIS é o *Mozilla Firefox*, mas o mesmo também pode ser acessado por outros *browsers* como *Safari* e *Chrome*.

Para a adaptação da interface com o usuário considerou-se que esta poderia ser utilizada tanto por usuários experientes como por usuários menos experientes que ao longo da utilização viriam a ganhar a experiência desejada. Com o objetivo de permitir o acesso eficiente a um conjunto de temas, a interface do WebGIS apresenta uma visualização simples e intuitiva com quatro áreas distintas, sendo que os dois primeiros são estáticos enquanto os últimos são atualizados sempre que manipulados pelo usuário: o painel de topo que contém o título da aplicação; logo abaixo encontra-se a barra de ferramentas principal onde à esquerda estão as ferramentas da aplicação com botões que permitem o acesso a diversas funcionalidades; abaixo da barra de ferramentas encontra-se o painel principal do mapa, que é um espaço dedicado à visualização e análise de informação geográfica; por último à esquerda pode-se visualizar o painel que permite a manipulação das camadas.

Os usuários podem ter acesso a todas as funcionalidades e camadas disponíveis através do login no *site* do *labeco.org*. A interface inicial do sistema apresenta os limites da Embrapa Pecuária Sul na escala aproximada de 1/100.000, pois todas as camadas inseridas no projeto são “recortadas” somente para a área experimental da Embrapa, todavia isso não impossibilita a inserção e visualização

de dados concernentes a outras regiões do Brasil e do Mundo. A figura 28 apresenta a interface de entrada do WebGIS Labeco Embrapa Pecuária Sul.

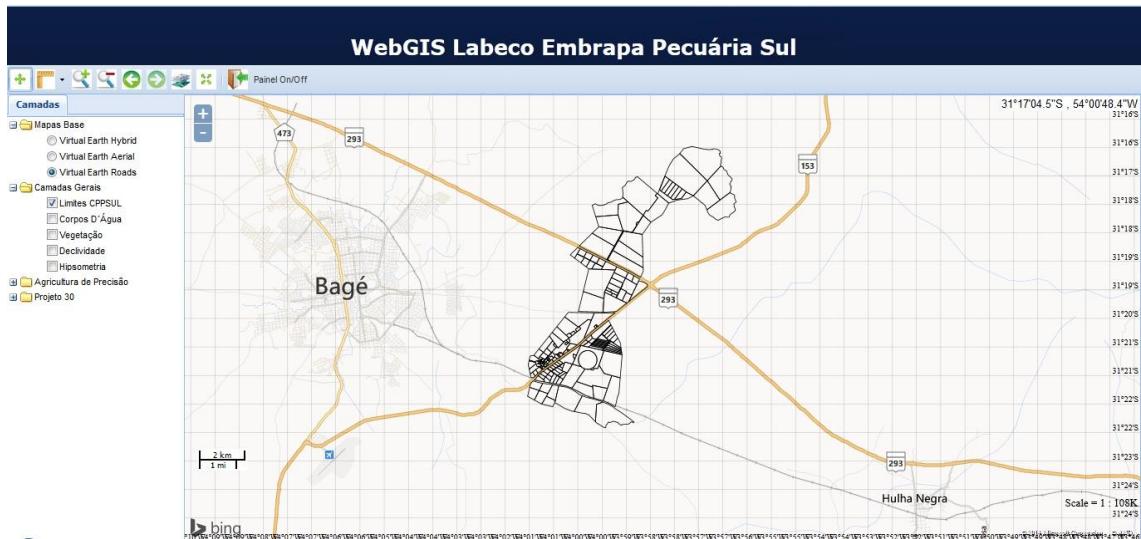


Figura 28 – Interface Inicial WebGIS

Fonte: do Autor.

A interação com o mapa é feita principalmente através da barra de ferramentas. A figura 29 apresenta o conjunto de operações possíveis de serem realizadas através desta interação. Algumas funções específicas serão tratada a seguir.

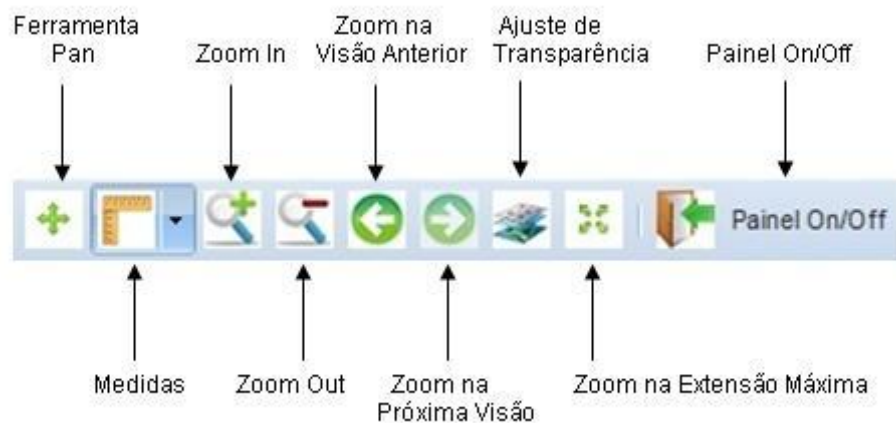


Figura 29 – Barra de Ferramentas do WebGIS

Fonte: do Autor.

A tabela 4 a seguir apresenta uma breve descrição das ferramentas contidas na barra de ferramentas.

Tabela 4 – Ferramentas da Barra Principal

Ferramenta	Funcionalidade
Ferramenta Pan	Permite efetuar o deslocamento do mapa. Basta clicar sobre o mapa e arrastá-lo para a localização pretendida.
Medidas	Permite a medição interativa de distâncias e perímetros clicando diretamente sobre o ícone de régua ou clicar no símbolo de menu e selecionar o ícone de cálculo de área conforme pode ser visto na figura 30, 31 e 32.
Zoom In	Permite fazer uma ampliação do mapa, aproximando-se da feição desejada.
Zoom Out	Permite fazer uma redução do mapa, afastando-se das feições do mapa.
Zoom na Visão Anterior	Permite disponibilizar a vista anterior.
Zoom na Próxima Visão	Permite disponibilizar a vista posterior.
Ajuste de Transparência	Permite ajustar a transparência de um determinado <i>layer</i> .
Zoom na Extensão Máxima	Permite ajustar o mapa ao zoom inicial do WebGIS.
Painel On/Off	Permite suprimir, através de um click, o painel esquerdo onde são selecionadas as camadas de informação. Basta clicar novamente para o painel retornar.

Fonte: do Autor.

A figura 30 mostra o *menu* contendo as opções de cálculo de medidas. A ferramenta de medições lineares é acionada clicando diretamente sobre o ícone simbolizado por uma régua e para cálculo de áreas é necessário clicar sobre o símbolo de *menu* e selecionar tal opção. Por padrão, o algoritmo de medição, derivado do *OpenLayers*, realiza medidas lineares utilizando as unidades de metro e quilômetro e para os cálculos de áreas as unidades de metro quadrado e quilômetro quadrado. Pretende-se ajustar o código para que os resultados das áreas calculadas sejam em hectares.



Figura 30 – Menu Seletor do Tipo de Medição

Fonte: do Autor.

Na figura 31 pode-se observar que quando acionado o botão para calcular medidas lineares, basta clicar sobre o ponto inicial e clicar sequencialmente sobre a feição para que o sistema calcule a soma das medidas parciais e mostre o resultado através de um *popup*. Para finalizar, basta dar um clique duplo.

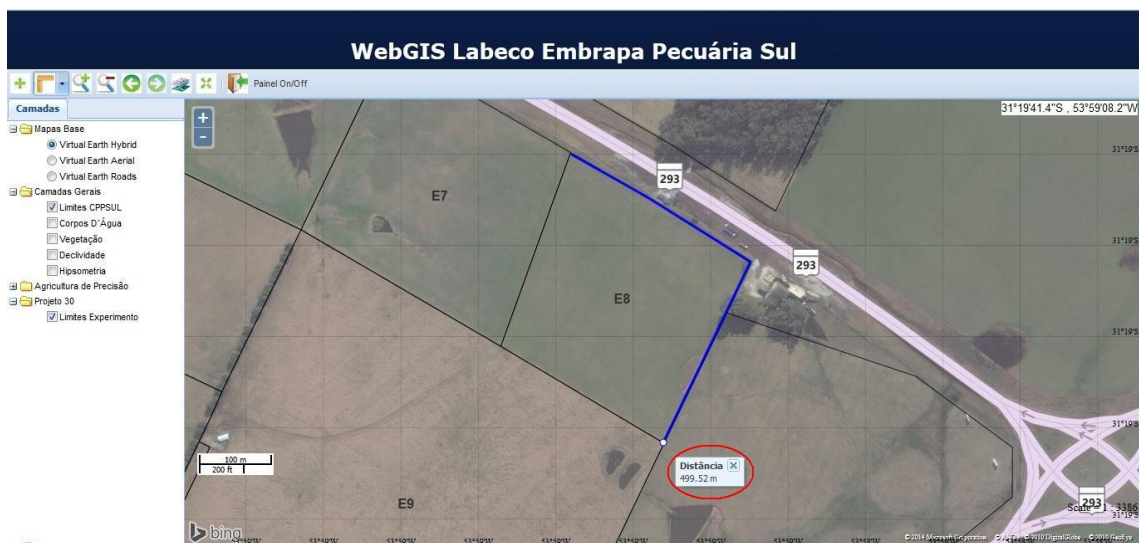


Figura 31 – Exemplo de Medida Linear

Fonte: do Autor.

O princípio para o cálculo de área é exatamente o mesmo daquele descrito em relação às medidas lineares, todavia o *popup* com o resultado da área só aparece após o clique duplo que indica o fechamento da área (figura 32).

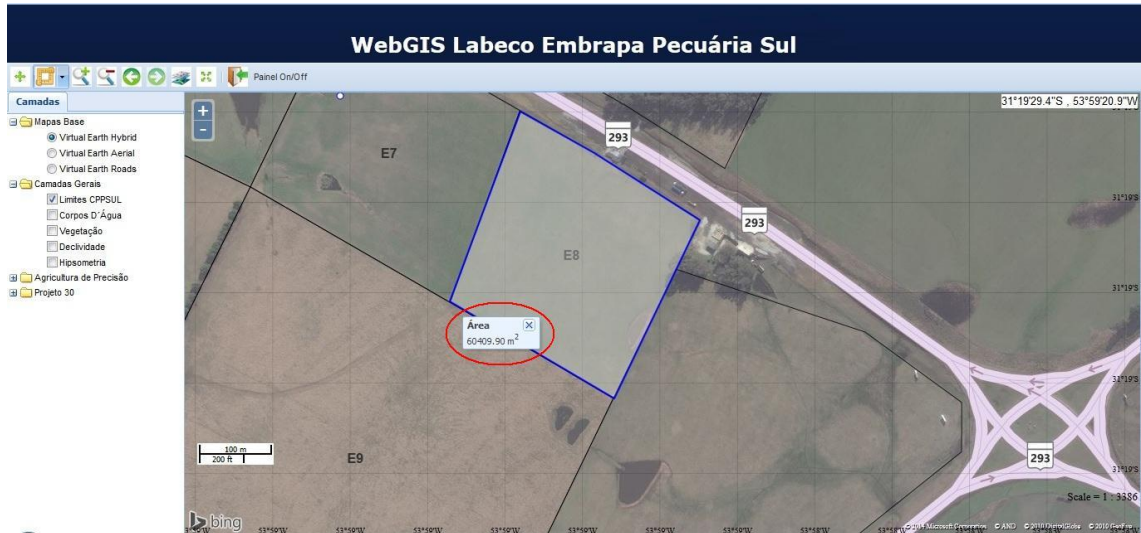


Figura 32 – Exemplo de Medida de Área

Fonte: do Autor.

As ferramentas de medição lineares e de áreas, apesar de simples para àqueles já familiarizados com o ambiente SIGs, apresentam-se como uma eficiente e amigável ferramenta para os usuários que trabalham em campo e constantemente necessitam de tais informações para realizarem cotações de material ou mesmo planejar a subdivisão de um determinado lote.

A ferramenta de ajuste da transparência das camadas, quando ativada, aciona um *popup* com um marcador deslizante que indica o percentual de opacidade da camada. Na figura 33, a camada de vegetação foi ativada e aumentada a transparência deslizando o marcador para esquerda. Esta ferramenta é muito útil para a visualização de camadas sobrepostas a fim de analisar a correlação entre elas. O ajuste da transparência das camadas é uma característica marcante dos SIGs e que potencializada a análise visual da correlação entre duas variáveis sobrepostas ou a mesma variável em épocas distintas, fato que, por si só pode indicar tendências e assim subsidiar estratégias de manejo ou intervenção sobre uma determinada área.

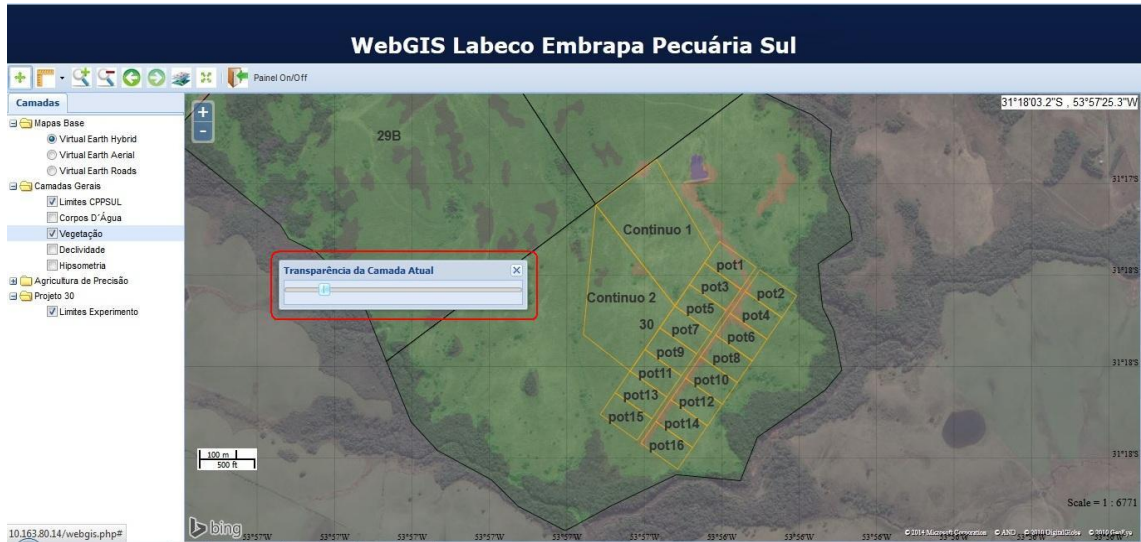


Figura 33 – Exemplo de uso da Ferramenta de Transparência

Fonte: do Autor.

O painel principal do WebGIS é onde se encontra disponibilizado o mapa, ou seja, as informações geográficas e sua ligação com os dados alfanuméricos sobre as camadas na base de dados. Neste painel encontram-se algumas informações adicionais destacadas na figura 34. No canto superior esquerdo, indicado com o número 1, existe uma ferramenta de zoom In (+) e zoom Out (-) que possuem as mesmas funções dos botões presentes na barra de ferramenta. No canto inferior esquerdo (2) existe uma escala gráfica e no canto inferior direito (3) uma escala numérica. No canto superior direito, indicado com o número 4, aparecem as coordenadas geográficas no datum WGS-84 do local onde estiver o ponteiro do mouse.



Figura 34 – Itens da Janela Principal do WebGIS

Fonte: do Autor.

O painel lateral esquerdo, figura 35, possui o seletor de camadas para visualização. As camadas estão divididas em 4 árvores, na primeira estão as camadas de Base, que no caso são as camadas do *Virtual Earth* que ficam sempre no fundo, podendo selecionar àquela que mais se adapte à necessidade do usuário. Abaixo se encontra as camadas básicas que são referentes a todo o campo experimental da Embrapa Pecuária Sul. Na terceira árvores encontram-se camadas relacionadas às atividades de agricultura de precisão realizadas nos poteiros 20 e 21 do campo experimental. Por último, encontram-se as camadas concernentes às atividades de pesquisa sobre serviços ecossistêmicos, agroecologia e pecuária realizada no poteiro denominado 30, que é a área de maior distância em relação à sede da unidade.

Com exceção das camadas de Base, todas as demais são customizadas em relação à representação no mapa. Isso diz respeito às cores de preenchimento e contorno, tamanho, espessura, presença de figuras, presença de rótulo (*label*), etc.

Na programação, desenvolvimento e customização das camadas presentes no WebGIS levou-se em conta aspectos relativos à cartografia temática, tendo como finalidade proporcionar um visual mais claro, lógico e amigável aos usuários e dirimir qualquer dificuldade de compreensão da informações que muitas vezes o uso inadequado das cores, formas e tamanhos pode ocasionar. Por isso, em algumas camadas há uma definição prévia da escala em que podem ser visualizadas, dependendo da escala original da informação.



Figura 35 – Painel Lateral do WebGIS

Fonte: do Autor.

4.2 Processamento de Dados de Sensoriamento Remoto e Levantamentos de Campo

Assim como em outras áreas do conhecimento, a agricultura tem desenvolvido técnicas para mensurar as mais variadas características de topografia, clima, vegetação ou de solo para inferir sobre aspectos específicos de intervenção, na medida do possível, em tempo real. O caminho que dá atenção às plantas assume que estas têm como expressar suas deficiências a partir de indicadores e o indicador com mais potencial tem sido a refletância da luz incidente, especialmente na região do visível e do infravermelho próximo. Tradicionalmente trabalha-se com a obtenção de imagens multiespectrais, por satélite ou avião, para a geração de diagnósticos e recomendação (MOLIN, 2011).

O Sensoriamento Remoto tem sido utilizado para avaliar as condições das culturas em relação ao nitrogênio, incidência de pragas, plantas invasoras e doenças e também para subsidiar o planejamento estratégico relacionado à definição de zonas de manejo, áreas suscetíveis aos problemas de erosão, área de preservação, entre outras. No entanto o Sensoriamento Remoto tem seus desafios, pois a iluminação natural nem sempre está disponível, além da presença de nuvens, o que pode variar a intensidade e as características espectrais dos alvos. Deve-se considerar também as questões relacionadas à escala de trabalho e as resoluções espacial, temporal, radiométrica e espectral dos sensores que podem inviabilizar sua utilização para um determinado fim (MOLIN, 2011).

Neste trabalho, conforme descrito na apresentação das camadas do WebGIS, foram processadas imagens do sensor orbital *RapidEye* com resolução espacial de 5 metros e também do Modelo Digital de Elevação (MDE) ASTER que possui uma grade com 30 metros de resolução espacial. Desta maneira, a seguir são apresentados os resultados de tais processamentos.

A partir de imagens obtidas pelo sensor *RapidEye* no dia 16 de Agosto de 2013 foi realizada uma classificação supervisionada utilizando o *software* SPRING. A classificação foi efetuada pelo algoritmo de classificação supervisionada por regiões *Bhattacharya* e objetivou a quantificação das áreas da unidade que foram antropizadas e as que ainda são consideradas de vegetação natural campestre. Assim, foram consideradas 4 classes na classificação: Vegetação Natural Campestre, Cultivadas / Áreas Antropizadas, Mata Ciliar/ Vegetação Arbustiva/ Eucalipto e Corpos D'Água.

Como resultado, observou-se que 53,5% de toda a área da Embrapa Pecuária Sul possui vegetação natural campestre, 36,3% de áreas antropizadas, 5,9% de áreas compostas por mata ciliar, vegetação arbustiva e eucalipto e 1% composta por corpos d'água, conforme apresentado pela tabela 5 e pela figura 36.

Este resultado é relevante pois pode nortear decisões de gestão tendo em vista a atual ocupação das áreas experimentais, além de permitir o acompanhamento temporal da utilização das mesmas. Assim, o WebGIS passa a ser efetivamente um balizador de ações por sua capacidade de explicitar aquilo que muitas vezes as informações alfanuméricas como planilhas e as estatísticas são incapazes de demonstrar.

Tabela 5 – Classes de Vegetação da Embrapa Pecuária Sul

Classificação Bhatthacharya		
Classes	Ha	% Total
Vegetação Natural Campestre	1490,23	53,5%
Vegetação Cultivadas / Áreas Antropizadas	1009,14	36,3%
Mata Ciliar / Veg. Arbustiva / Eucalipto	165,51	5,9%
Corpos D'Água	29,22	1,0%
Área total das classes	2694,10	96,8%
Área Total da Unidade	2783,00	

Fonte: do Autor.

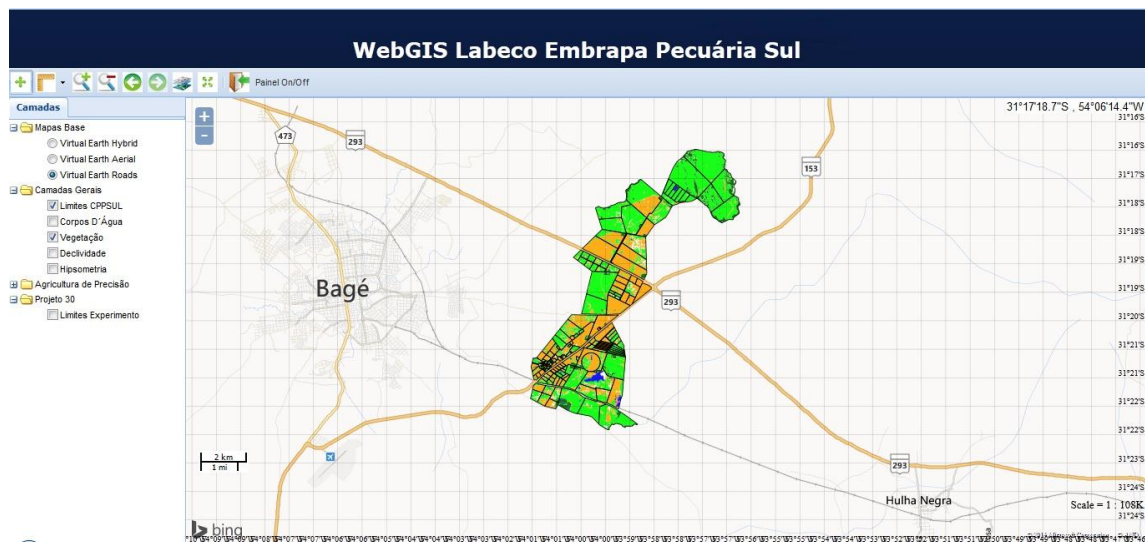


Figura 36 – Mapa de Classificação da Vegetação

Fonte: do Autor.

Os modelos digitais de elevação (MDE) e os modelos digitais do terreno (MDT) são atualmente uma das mais importantes informações usadas para a análise geográfica. Conforme Burrough (1986), o modelo digital de elevação (MDE) é definido como toda representação digital da variação contínua do relevo no espaço, considerando o termo MDE para modelos que contenham somente dados de elevação e o termo MDT para modelos que podem conter outras propriedades que variam no espaço, tais como temperatura ou gravimetria.

Segundo Boemo (2011) os MDEs podem gerar produtos na forma de mapas, análises topográficas do relevo, cruzamentos com modelos de produtividade ou de variáveis de solo.

A obtenção de um MDE ou MDT pode ser realizada através de processos topográficos de levantamento altimétricos convencionais, por levantamentos geodésicos utilizando GPS ou pelo processo de recuperação de altitudes do terreno exportadas de modelos digitais como por exemplo o SRTM ou o ASTER (BOEMO, 2011).

Os levantamentos altimétricos convencionais realizados à campo através da estações totais e GPS possuem a vantagem de ser mais precisos, principalmente considerando o aspecto topográfico da aplicação, pois a margem de erro nas estimativas altimétricas é da ordem de milímetros, enquanto que a margem de erro ou resolução vertical do modelo digital de elevação ASTER possui erro de aproximadamente 7 metros.

Mesmo com menor precisão altimétrica comparando-se a levantamentos topográficos ou geodésicos, os dados do MDE ASTER são disponibilizados de forma gratuita para *download* na internet, fato que confere um baixo custo em relação aos trabalhos topográficos que são mais demorados e custosos. Portanto, dependendo da escala de trabalho e do objetivo proposto, os mapas altimétricos e demais produtos derivados do MDE podem fornecer várias informações a partir de análises e cruzamentos com outros modelos, como por exemplo a avaliação da produtividade por classes de relevo (BOEMO, 2011).

No presente trabalho, a partir do processamento dos dados MDE ASTER realizados no *software* SPRING foram geradas 10 classes hipsométricas com “fatiamento” de 20 em 20 metros de altitude. Desta maneira o resultado apresenta um degrade do verde ao marrom representando as altitudes, de 160 a 360 metros, encontradas na área, conforme apresentado na figura 37.

Este resultado, apesar de apresentar pouco detalhe altimétrico para estudos de pequenos poteiros individualmente, pelas razões supracitadas, pode balizar ações de gestão dos campos experimentais facilitando a identificação e seleção de áreas ideais às atividades específicas em função também de variáveis como declividade ou proximidade aos corpos d’água.

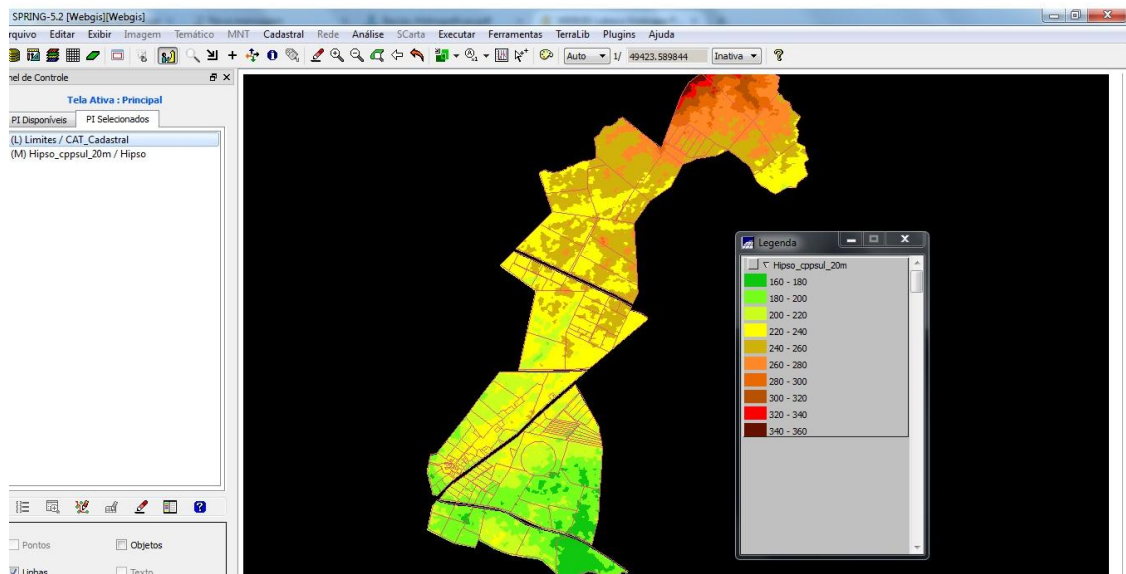


Figura 37 – Mapa Hipsométrico da Embrapa Pecuária Sul

Fonte: do Autor.

Outra informação derivada dos dados MDE ASTER é a declividade que conceitualmente é a inclinação de uma determinada superfície em relação ao plano horizontal e pode ser expressa em graus ou em porcentagem. No processamento foram consideradas 6 classes de declividades: plano, suave ondulado, moderadamente ondulado, ondulado, forte ondulado e montanhoso (RAMALHO FILHO; BEEK,1995).

A análise dos dados (tabela 6) permitiu verificar que na área de estudo predominam os relevos suave ondulado a ondulado, ou seja, 80,60% da área possui declives que variam de 3 a 20%: suave ondulado (declive de 3 a 8%) predomina em 27,6%, o moderadamente ondulado (declive de 8 a 13%) em 27,8% e o ondulado (declive de 13 a 20%) em 25,1%. O relevo plano (declive de 0 a 3%), o forte ondulado (declive de 20 a 45%) e o montanhoso (declive >45%) corresponderam a 19,4% do total.

Tabela 6 – Classes de Declividade

Declividades (ASTER)		
Classe	Ha	% Total
Plano - 0 a 3%	142,58	5,1%
Suave Ondulado - 3 a 8%	772,71	27,6%
Moderadamente Ondulado - 8 a 13%	778,66	27,8%
Ondulado - 8 a 20%	702,82	25,1%
Forte Ondulado - 20 a 45%	399,30	14,3%
Montanhoso - 45 a 75%	1,98	0,1%
Área Total da Unidade	2798,05	

Fonte: do Autor.

Conforme Ramalho Filho e Beek (1995) as áreas com onduladas com declividade de 13 a 20% são mais indicadas para a exploração de culturas permanentes, uma vez que, esse tipo de plantio proporciona ao solo maior proteção. As áreas de relevo forte ondulado (20 a 45%), que na área da Embrapa Pecuária Sul corresponde à 14,3%, devem ser destinadas para o desenvolvimento de atividades como pecuária e silvicultura, podendo ainda ser utilizadas para a conservação ambiental, evitando-se dessa forma, problemas de erosão do solo.

Os locais com relevo montanhoso (declividades acima de 45%) representam somente 0,1% da unidade experimental e encontram-se majoritariamente na região norte da unidade, local menos antropizado e com maior percentual de vegetação natural campestre e floresta natural. Conforme Ramalho Filho e Beek (1995) estas áreas apresentam severa suscetibilidade à erosão, não sendo recomendadas para o uso agrícola, sob pena de serem erodidas em poucos anos, portanto nestes locais deve ser estabelecida uma cobertura vegetal de preservação ambiental.

Apoiando estas recomendações, pode-se confirmar que no campo experimental da Embrapa Pecuária Sul as áreas com relevo forte ondulado e montanhoso são historicamente utilizadas para estudos relacionados à pecuária de campo nativo e estudos agroecológicos, além de conterem as áreas de preservação permanente.

Com relação aos estudos do solo através de sensores capazes de obter tais informações, observa-se que os avanços, a quantidade de pesquisa e a diversidade de abordagens são ainda maiores que das plantas. O próprio penetrômetro, que mede a força de penetração de uma ponteira no solo, bem como as suas variações,

tem sido utilizado para o diagnóstico da compactação pelo índice de cone (IC) desde os anos 1950.

Outra grande frente de trabalho em solo tem sido a mensuração da condutividade elétrica e hoje é uma técnica já incorporada às práticas de prospecção em alguns países. A condutividade elétrica é influenciada por diversos fatores do solo como a porosidade, concentração de eletrólitos dissolvidos, textura, quantidade e composição dos colóides, matéria orgânica e teor de água (MOLIN, 2011).

Os trabalhos com espectrofotometria de campo têm avançado e atualmente existem equipamentos capazes de quantificar teor de água, matéria orgânica e textura. Da mesma forma, já se conhece sensores de pH, alguns já comerciais.

Aplicações importantes e promissoras são aquelas que visam à detecção de plantas invasoras e vários princípios têm sido estudados, desde a refletância até a textura de imagens para a diferenciação de plântulas na aplicação localizada de herbicidas (MOLIN, 2011).

A utilização de sensores para coleta de dados possibilita a redução de custos e melhor interpretação de mapas relacionados a produção das culturas, como no caso da soja, de maneira mais eficiente e com maior acurácia. Nos campos experimentais da Embrapa Pecuária Sul existem dois poteiros que possuem dados de produtividade de soja e outras variáveis levantados em campo.

Em 2010 foi realizada campanha de levantamento de dados onde foram obtidas as condutividades elétricas do solo, com o sensor por contato direto Veris, a 0-30 e 0-90 cm de profundidade. Foram obtidos também os parâmetros estatísticos descritivos e realizada a análise geoestatística através do semivariograma, interpolação dos dados por krigagem e construção de mapas de isolinhas. Os dados deste levantamento foram processados no SPRING e encontram-se disponibilizados no WebGIS. Nas figuras 38 e 39 pode-se observar os mapas de condutividade medidas à 30 e a 90 cm de profundidade nos poteiros 20 e 21.

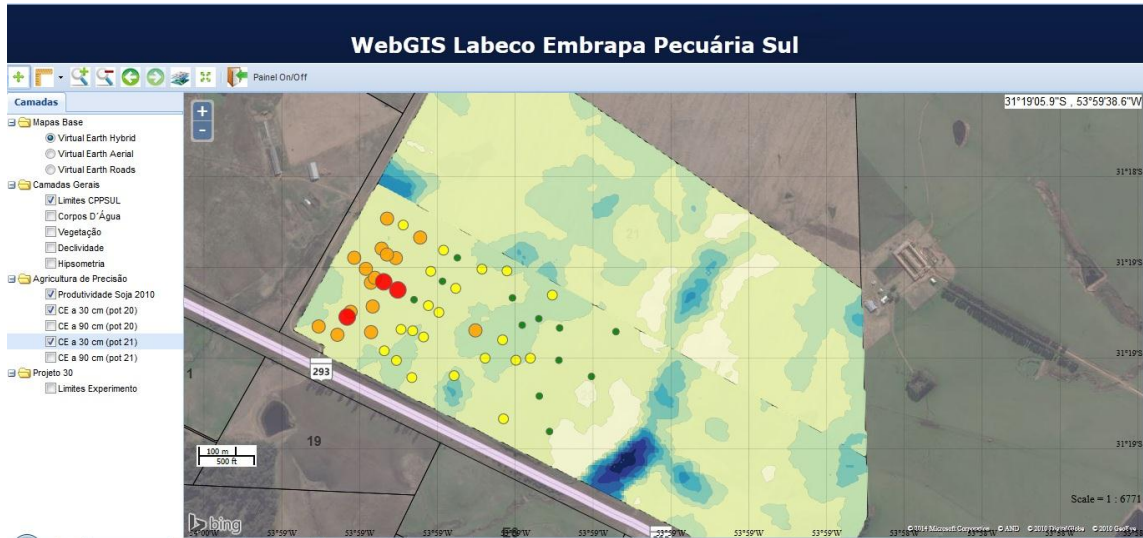


Figura 38 – Pontos de Produção de Soja e Condutividade Elétrica a 30 cm

Fonte: do Autor.

As áreas mais claras representam área de menor condutividade elétrica do solo e as áreas mais escuras representam àquelas de maior condutividade. Podem-se observar também circunferências que simbolizam a produtividade da soja no potreiro 20 no ano de 2010. Utilizou-se um recurso de regras do *OpenLayers* que atribui tamanho e cores diferentes aos pontos amostrais em função da variável onde se encontra a produtividade. Os pontos menores em verde simbolizam a produtividade de até 2000 Kg/Ha, os amarelos entre 2000 e 3000 Kg/Ha, os alaranjados áreas de 3000 a 4000 Kg/Ha e os vermelhos áreas com produtividade maiores que 4000 Kg/Ha.

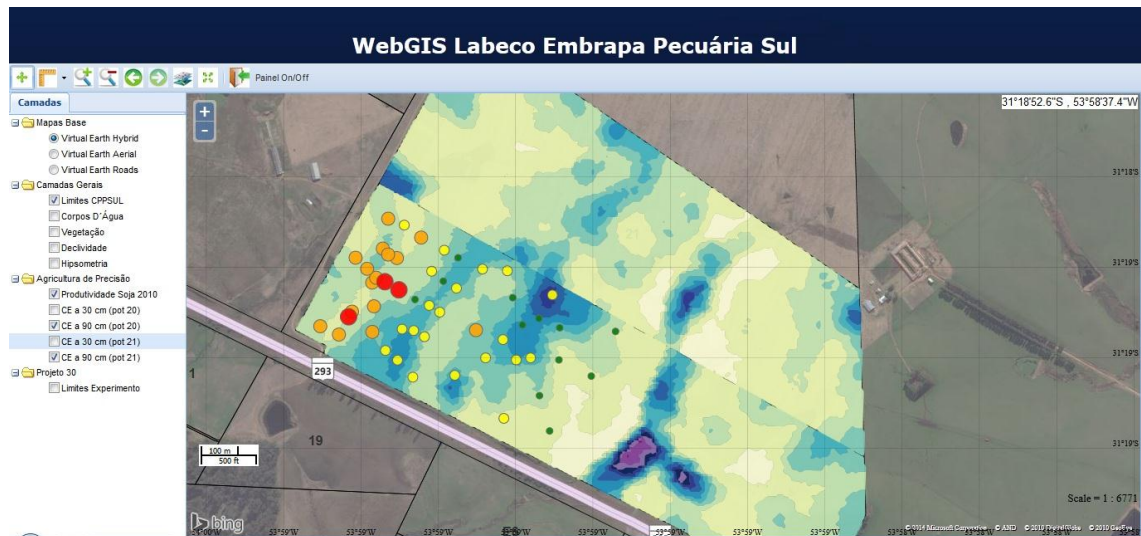


Figura 39 – Pontos de Produção de Soja e Condutividade Elétrica a 90 cm

Fonte: do Autor.

Nas áreas supracitadas foi conduzido um experimento baseado em um sistema de Integração Lavoura-Pecuária, típico da Região Sul do Brasil, envolvendo a sucessão de cultivos de soja e pastagem de inverno. A análise geostatística permitiu caracterizar a dependência espacial para diferentes variáveis estudadas utilizando 46 pontos amostrais em 21 Ha (PEREZ et al., 2011).

Apesar da boa correlação entre a condutividade elétrica e outras variáveis medidas, como por exemplo o teor de magnésio do solo, a produtividade da soja não apresentou correlações positivas com a condutividade elétrica, como pode-se observar na figura 39. Um dos fatores que pode explicar tal situação é o histórico da área, pois a divisão dos lotes nem sempre foi como encontra-se atualmente, podendo a atual subdivisão dos lotes integrar áreas que antigamente tiveram usos e tratamentos muito diferentes.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Considerações Finais e Discussão sobre as Vantagens e Limitações do WebGIS

Com a evolução e a rápida expansão nas últimas décadas, a internet tornou-se um meio privilegiado para o compartilhamento e disponibilização de dados espaciais, contribuindo para o surgimento dos WebGIS.

Na agricultura e na pecuária de precisão os SIG são atualmente classificados como sistemas de grande utilidade pelas suas características, contudo a sua utilização a nível particular não se encontra generalizada principalmente devido a dois fatores: a exigência a nível técnico e os elevados preços das licenças dos *softwares* disponíveis no mercado. Desta maneira, o surgimento dos WebGIS, construídos sob plataformas livres, constituem um dos mais recentes avanços no apoio à tomada de decisão, oferecendo acesso descentralizado às informações geográficas, fato este que vêm estimulando a comunidade SIG a distribuir *WebGIS* pela internet (PENG; TSOU, 2003).

Com a disponibilização de um WebGIS obtêm-se, por um lado, o acesso a dados espaciais tratados e atualizados por técnicos e, por outro lado, a utilização de *software open source*, um serviço pouco oneroso, acessível a uma vasta gama de usuários. Vale ressaltar, no entanto, que esta ferramenta não pretende ser um substituto do *software SIG desktop*, que por sinal foram utilizados no processamento dos dados inseridos no presente WebGIS. Constitui-se antes como uma ferramenta de visualização e interação com as informações espaciais relevantes para os seus usuários. Desta forma, estes podem fazer uma gestão da informação geográfica, sem ser necessário qualquer *software* específico, ou conhecimentos aprofundados de SIG.

No processo de implementação do projeto surgiram algumas dificuldades, sobretudo na escolha do *software* e tipo de arquitetura a adotar uma vez que o grau de dificuldade de criação e implementação dependia dessa escolha e dos

conhecimentos técnicos relacionados às tecnologias de informação, internet, programação e SIG.

Por razões técnica e de infraestrutura de *hardware* e TI, não foi possível recorrer a um SGBD livre dedicado a servidor de mapas como por exemplo o *Mapserver* ou *GeoServer*, todavia contou-se com o SGBD *MySQL* e outras ferramentas e funcionalidades pré-formatadas, como é o caso do *OpenLayers*, *GeoExt* e *Ext JS* que se revelaram bastante interessante, pois permite poupar tempo no desenvolvimento, superando as eventuais desvantagens por não se construir uma solução de raiz inteiramente adaptada aos objetivos do WebGIS.

Todos os *softwares* utilizados na implementação foram facilmente baixados da internet e são de fácil instalação. A utilização de *software open source* permite o desenvolvimento de uma solução WebGIS integrada, estável, robusta, confiável e com um custo bastante atrativo. As comunidades, *websites* e fóruns de usuários e desenvolvedores das ferramentas *open source* utilizadas revelaram-se muito ativos facilitando a tarefa de implementação do WebGIS.

Há inúmeras vantagens na utilização de *software open source*, uma delas é a liberdade de modificar o código que permite personalizar a aplicação para melhor atender as necessidades dos usuários. No entanto, isso pode impor algumas dificuldades que serão dependentes da experiência do desenvolvedor, por isso, é desejável um conhecimento prévio em linguagens de programação. Por outro lado, para um desenvolvedor que não tenha experiência em programação existem os tutoriais on-line com exemplos que podem orientá-lo ao longo do desenvolvimento.

5.2 Desafios e Propostas de Desenvolvimento Futuro

Nos últimos anos tem se verificado um aumento do número de opções de *software open source* para disponibilização de dados espaciais pela internet, o que constitui uma vantagem pela melhoria das aplicações existentes, correção de erros e aparecimento de novas funcionalidades (contrariamente ao *software* proprietário, onde muitas vezes apesar de a evolução também existir é normalmente paga) mas também representa um grande desafio de futuro na manutenção e atualização dos serviços criados.

Entre os próximos desafios a serem enfrentados em relação ao WebGIS proposto está a sua aplicação como um instrumento efetivo de apoio à gestão de dados geográficos de toda a Empresa Pecuária Sul, o que permitirá uma avaliação mais concreta das funcionalidades disponibilizadas, conduzindo à eventual necessidade de proceder a ajustes no sentido de melhor corresponder às expectativas dos usuários.

As camadas de informações presentes no WebGIS devem ser constantemente atualizadas visando atender as necessidades dos usuários e promover o armazenamento, visualização e extração de dados referentes aos poteiros e assim permitir o acompanhamento temporal das áreas.

Para isso é necessário planificar e realizar ações de formação aos usuários que deverão ter acesso ao sistema, entre os quais os funcionários dos diversos setores da unidade. A finalidade é que os setores tenham capacidade gerencial relativa aos seus dados.

As linhas de desenvolvimento futuro do WebGIS inserem-se, sobretudo, na perspectiva de ir ao encontro das necessidades dos usuários, embora o WebGIS já esteja apresentando a necessária estabilidade e funcionalidades para entrar em sua fase de produção. As melhorias e novas funcionalidades que podem ser implementadas incluem:

- Disponibilizar no sítio na internet um guia passo a passo, ilustrado, acerca da utilização e funcionalidades do sistema e assim, mesmo um usuário menos experiente rapidamente se sentirá à vontade na utilização da ferramenta.
- Criar um fórum de suporte ao sistema no próprio sítio, para ser utilizado por utilizadores com dúvidas ou apenas para promover discussão.
- Inserir uma ferramenta de impressão e permitir a combinação de dados tabulares e gráficos aos dados espaciais para melhorar a capacidade do sistema de gerar relatórios.
- Implementar para além do controle de usuários credenciados, um nível de restrição de acesso diferenciado por usuário ou grupo de usuários, que será imprescindível caso venha-se permitir aos usuários fazer a edição de registro da base de dados.

- Utilizar um servidor dedicado e o SGBD *Geoserver* para gerenciamento das camadas e disponibilização de arquivos nos formatos WFS e WMS.
- Aprimorar continuamente a interface utilizando as ferramentas *OpenLayers*, *GeoExt* e *Ext JS* em versões mais recentes e com bibliotecas mais atualizadas.
- Avançar no estudo para a utilização de metadados com a criação de um banco de metadados para que a ferramenta esteja apta a interagir com a INDE através do nó central da Embrapa.

Com o WebGIS desenvolvido na presente dissertação pôde-se concluir que uma ferramenta SIG com aplicação na internet pode ser utilizada como uma potente e acessível ferramenta de gestão agropecuária promovendo o uso sustentável das áreas experimentais da Embrapa Pecuária Sul.

REFERÊNCIAS

ANGEL ALVAREZ, M. Introdução à programação em PHP. **Criarweb.com**, León, 14 jul. 2004. Disponível em: <<http://www.criarweb.com/artigos/70.php>>. Acesso em: 29 abril 2014.

ARAÚJO, M. A.; ROCHA, J. G. **Web services na informação geográfica**. Braga: Universidade do Minho, 2004. 14 p.

BARROS FILHO, M. B. B. de. WEBGIS – GeoExt. **FossGIS Brasil**, ano 1, n. 2, p. 48-52, jun. 2011.

BISHR, Y. Overcoming the semantic and other barriers to GIS interoperability. **International Journal of Geographical Information Science**, London, v. 12, n. 4, p. 299-314, Jan. 1998.

BOEMO, D. **Desenvolvimento de Sistemas de Geoprocessamento e Tecnologia Móvel Aplicados à Agricultura de Precisão**. 2011. 117 f. Tese (doutorado) — Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Santa Maria, RS, 2011.

BRASIL. **Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais**. Disponível em: <http://www.inde.gov.br/?page_id=40>. Acesso em: 7 mar. 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agricultura de precisão**: boletim técnico. Brasília, DF: MAPA: ACS, 2011. 36 p.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographic information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1986. 193 p.

CABOT, P. E. et al. Monitoring and predicting manure application rates using precision conservation technology. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 61, n. 5, p. 282-292, Sept./Oct. 2006. Disponível em: <<http://www.highbeam.com/doc/1G1-155405849.html>>. Acesso em: 23 jan.2014.

CALDEWEYHER, D.; ZHANG, J.; PHAN, B. OpenCIS - open source GIS-based web community information system. **International Journal of Geographical Information Science**, Oxon, v. 20, n. 8, p. 885-898, Sept. 2006.

CÂMARA, G. et al. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**. São José dos Campos: INPE, 1996. 193 p.

CÂMARA, G. **Software livre para SIG: entre o mito e a realidade**. **InfoGeo**, Curitiba, n. 31, 2010. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/infogeo/infogeo31.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2014.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO A. M.; **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>>. Acesso em: 26 dez. 2013.

CASANOVA, M. A. et al. **Bancos de dados geográficos**. Curitiba: MundoGEO, 2005. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/livros/bdados/capitulos.html>> Acesso em: 6 fev. 2013.

CASTRO, D. M. **Visualização de dados geográficos urbanos na Web: estudo de caso na Região Metropolitana de Belo Horizonte**. 2011. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

CHANG, K. **The design of a web-based geographic information system for community participation**. 1997. Thesis (Masters)-Buffalo University, 1997. <http://krygier.owu.edu/krygier_html/lws/chang.html>. Acesso em: 20 jan. 2014.

COMISSÃO NACIONAL DE CARTOGRAFIA (Brasil). Comitê de Estruturação de Metadados Geoespaciais. **Perfil de metadados geoespaciais do Brasil**. Rio de Janeiro, 2009. 194 p. Disponível em: <http://www.concar.ibge.gov.br/arquivo/111@Perfil_MGB_homologado_nov2009_v1.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2014.

CONSÓRCIO WORLD WIDE WEB. **Sobre o W3C**. São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.w3c.br/Sobre>> Acesso em: 27 fev. 2014.

D'ALGE, J. C. L. Cartografia para geoprocessamento. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap6-cartografia.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2014.

DAVIS JUNIOR, C. A.; FONSECA, F. T.; CÂMARA, G. Beyond SDI: integrating science and communities to create environmental policies for the sustainability of the Amazon. **International Journal of Spatial Data Infrastructures Research**, Ispra, v. 4, p. 156-174, 2009.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **SOMABRASIL**: Sistema de Observação e Monitoramento da Agricultura no Brasil. Disponível em: <<http://www.cnpm.embrapa.br/projetos/somabrazil/index.html>>. Acesso em: 5 maio 2014.

ESPAÑA. Ministerio de Fomento. Consejo Superior Geográfico. **Infraestructura de Datos Espaciales de España**. 2014. Disponível em: <<http://www.ideo.es>> Acesso em: 7 mar. 2014.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. National Agricultural Statistics Service. **CropScape**: cropland data Layer. Washington, 2014. <<http://nassgeodata.gmu.edu/CropScape/>>. Acesso em: 26 maio 2014.

ESTADOS UNIDOS. Federal Geographic Data Committee. **Geographic information framework data content standard**. Reston, 2008. 27 p. Disponível em: <http://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/framework-data-standard/GI_FrameworkDataStandard_Part0_Base.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2014.

ESTADOS UNIDOS. National Research Council. Committee on Assessing Crop Yield-Site-Specific Farming, Information Systems, and Research Opportunities, Board on Agriculture. **Precision agriculture in the 21st century**: geospatial an information technologies in crop management. Washington: National Academy Press, 1997. 168 p.

FERRARI, F. A. **Crie banco de dados MySQL**. São Paulo: Digerati Books, 2007. 128 p.

FERREIRA, E.; EIS, D. **HTML5**: curso. São Paulo: W3C Escritório Brasil, 2011. 106 p.

FOOTE, K. E.; KIRVAN, A. P. **WebGIS**: NCGIA Core Curriculum in GIScience. Santa Barbara: NCGIA, 1997. Disponível em: <<http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u133/u133.html>> Acesso em: 25 fev. 2014.

FU, P.; SUN, J. GIS in the web era. In: FU, P.; SUN, J. **Web GIS**: principles and applications. Redlands: ESRI Press, c2011. p. 1-24.

GEOEXT COMMUNITY. **JavaScript toolkit for rich Web mapping applications**. c2010. Disponível em: <<http://geoext.org/>>. Acesso em: 1º maio 2014.

GEOJSON. **The GeoJSON format specification**. 2014. Disponível em: <<http://geojson.org/geojson-spec.html>>. Acesso em: 1º maio 2014.

GOODCHILD, M.; EGENHOFER, M. J.; FEGEAS, R. Interoperating SIGs: Panel on computational implementations of geographic concepts. In: INTERNATIONAL CONFERENCE & WORKSHOP ON INTEROPERATING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS, 1997, Santa Bárbara. **Anais eletrônicos...** Santa Barbara: NCGIA, 1997. Disponível em: <<http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/interop97/report.html#section1>>. Acesso em: 27 fev. 2014.

HAAREN, C. von et al. Assessing biodiversity on the farm scale as basis for ecosystem service payments. **Journal of Environmental Management**, London, v. 113, p. 40-50, Dec. 2012.

HEXSEL, R. A. **Software livre**: propostas de ações de governo para incentivar o uso do software livre. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Departamento de Informática, 2002. 48 p. (Relatório técnico. RT-DINF 004/2002).

INAMASU, R. Y. et al. Agricultura de precisão para sustentabilidade de sistemas produtivos do agronegócio brasileiro. In: _____. et al. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 14-26. INPE. **SPRING**: tutorial de geoprocessamento. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/descricao_geral.html>. Acesso em: 13 maio 2014.

INSPIRE. **Infrastructure for Spatial Information in the European Community**. 2014. Disponível em: <<http://inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/48>> Acesso em: 07 de março 2014.

ISO. **International Organization for Standardization**. Disponível em: <<http://www.iso.org/iso/home/about.htm>> Acesso em: 27 fev. 2014.

KAUFMAN, S.; PERKINS, J.; FLEET, D. **Teach yourself activeX programming in 21 days**. Rio de Janeiro: Campus, 1997. 703 p.

LOBO, E. J. R. **Criação de sites em PHP**. São Paulo: Digerati Books, 2007. 96 p. LONGLEY, P. A. et al. **Geographic information systems and science**. Barcelona: J. Wiley, 2005. 517 p.

MacEACHREN, A. M.; KRAAK, M. Research challenges in geovisualization. **Cartography and Geographic Information Science**, Gaithersburg, v. 28, n. 1, p. 3-12, Jan, 2001.

MAGALHÃES, W. G. (Org.). **Noções básicas de cartografia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1998. 127 p.

MAZIERO, L. T. P. **Influência dos aspectos das interfaces na comunicação dos mapas interativos e a proposição de diretrizes para o design dessas interfaces**. 2007. 213 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

MILFONT, C. Introdução ao framework ExtJS. **Java Magazine**. n. 60, 2008. Disponível em: <<http://www.devmedia.com.br/artigo-java-magazine-60-introducao-ao-framework-extjs/10212>>. Acesso em: 4 maio 2014.

MITCHELL, T. **Web mapping illustrated**. Beijing: O'Reilly, 2005. 349 p.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão. In: BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agricultura de precisão**: boletim técnico. Brasília, DF: MAPA: ACS. 2011. p. 5-27.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão: situação atual e perspectivas. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Milho**: estratégias de manejo para alta produtividade. Piracicaba: ESALQ, USP, 2003. v. 1, p. 89-98.

MOURA, A. C. M. A importância dos metadados no uso das geotecnologias e na difusão da cartografia digital. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE MAPEAMENTO SISTEMÁTICO, 2., 2005, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: CREA-MG, 2005. Disponível em: <<http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/Metadados.pdf>>. Acesso em: 26 dez. 2013.

MUELLER, R. VegScape: a NASS web Service-based U.S. crop condition monitoring system. In: AGRICULTURAL OUTLOOK FORUM, 2013, Arlington. **The changing face of agriculture**. Washington: USDA-ECO, 2013. Disponível em: <http://www.nass.usda.gov/Education_and_Outreach/Reports,_Presentations_and_Conferences/Presentations/Mueller_AgOutlook13_VegScape.pdf>. Acesso em: 26 maio 2014.

MUELLER, R.; HARRIS, M. Reported uses of cropScape and the National Cropland Data Layer Program. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL STATISTICS, 6., 2013, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <http://www.nass.usda.gov/research/Cropland/docs/MuellerICASVI_CDL.pdf>. Acesso em: 26 maio 2014.

MYSQL. Manual de referência do Mysql 5.7: tradução do manual oficial. Disponível em: <<http://dev.mysql.com/doc/mysql/en>>. Acesso em: 29 abr. 2014.

NANNI, A. S. et al. **Quantum SIG:** guia do usuário, versão 1.7.4 'Wroclaw'. Disponível em: <<http://qSIGbrasil.org>> 291p. Acesso em: 15 jan. 2014.

NEBERT, D. **Developing spatial data infrastructures:** the SDI cookbook version 2.0. [S.l.]: GSDI, 2004. 104 p. Disponível em: <<http://www.gsdi.org/docs2004/Cookbook/cookbookV2.0.pdf>> Acesso em: 23 dez. 2013.

NÖLLE, O. Geo-services: optimizing agricultural business processes. In: EC GI & GIS WORKSHOP, 10., 2004, Warsaw. **ESDI state of the art:** proceedings. Warsaw: IES: JRC, 2004. Disponível em: <http://www.ec-gis.org/Workshops/10ec-gis/papers/24june_nolle.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2014.

OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM. **About OGC.** 2014. Disponível em: <<http://www.opengeospatial.org/ogc>>. Acesso em: 28 fev. 2014.

OPEN SOURCE GEOSPATIAL FOUNDATION. **OpenLayers:** free maps for the web. 2014. Disponível em <<http://www.openlayers.org>> Acesso em: 1º maio 2014.

OPEN SOURCE INITIATIVE. **About Open Source Licenses.** 2014. Disponível em <<http://opensource.org/licenses>> Acesso em: 1º maio 2014.

PEIXOTO, M. **Pagamento por serviços ambientais:** aspectos teóricos e proposições legislativas. Brasília, DF: Nucleo de Estudos e Pesquisas do Senado Federal, 2011. 31 p. (Senado Federal. Textos para discussão, 105).32 p. Disponível em: <<http://www12.senado.gov.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td-105-pagamento-por-servicos-ambientais-aspectos-teoricos-e-proposicoes-legislativas>> Acesso em: 27 jan. 2014.

PENG, Z. R.; TSOU, M. H. **Internet GIS:** distributed geographic information services for the internet and wireless networks. Hoboken: Wiley, ©2003. 679 p.

PEREZ, N. B. et al. Variabilidade espaço-temporal em sistemas de integração lavoura-pecuária na Região Sul do Brasil: perspectivas de intervenção com agricultura de precisão. In: _____. et al. (Ed.). **Agricultura de precisão:** um novo olhar. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 249-253.

PHP GROUP. **PHP hypertext preprocessor**. Disponível em: <<http://www.php.net>>. Acesso em: 29 abr. 2014.

PINA, M. F.; SANTOS, S. M. **Conceitos básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia aplicados à saúde**. Brasília, DF: Organização Panamericana da Saúde, Ministério da Saúde, 2000. 122 p.

QSIG. **Quantum SIG**: about. 2014. Disponível em: <<http://www.qSIG.org/en/site/about/index.html>>. Acesso em: 1º maio 2014.

QUEIROZ FILHO, A. P.; GIANNOTTI, M. A. Mapas na Web. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, p. 171-189, 2012. Volume especial 30 Anos.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65 p.

RAMOS, C. S.; GERARDI, L. H. de O. Cartografia interativa e multimídia: situação atual e perspectivas. GERARDI, L. H. de O.; MENDES, I. A. (Org.). **Do natural, do social e de suas interações**: visões geográficas. Rio Claro: UNESP-PPGG: AGETEO, 2002. p. 239-247. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/geografia/pos/downloads/2002/cartografia.pdf>> Acesso em: 29 jan. 2014.

ROSA, R. **Sistema de informação geográfica**. Uberlândia: UFU-IG-LG, 2004. 49 p.

SANTANA, S. **Modelagem de comunicação em WebGIS para difusão de dados geográficos e promoção de análise espacial**. 2009. 168 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) -Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

UCHOA, H. N.; FERREIRA, P. R. **Geoprocessamento com software livre**. [S.l.: s.n.], 2004. 30 p. Disponível em: <http://carlosgrohmann.com/downloads/geoprocessamento_software_livre_uchoa- roberto-v1.0.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2014.

VEER, E. V. **JavaScript for dummies**. 4th ed. Hoboken: Wiley Publishing, 2004. 376 p.

WEBER, E. et al. **Qualidade de dados geoespaciais**. Porto Alegre: UFRGS, 1999. 37 p. (Relatório de pesquisa).