

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS – CAMPUS CASCAVEL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

ADB-API-TRACKER E ADB-TRACKER: UMA SOLUÇÃO EM SOFTWARE E HARDWARE
PARA ORIENTAÇÃO DE OPERAÇÕES AGRÍCOLAS EM ZONAS DE MANEJO

ELDER ELISANDRO SCHEMBERGER

CASCAVEL
2019

ELDER ELISANDRO SCHEMBERGER

**ADB-API-TRACKER E ADB-TRACKER: UMA SOLUÇÃO EM SOFTWARE E HARDWARE
PARA ORIENTAÇÃO DE OPERAÇÕES AGRÍCOLAS EM ZONAS DE MANEJO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza – UNIOESTE

Coorientador: Prof. Dr. Claudio Leones Bazzi – UTFPR-MD

CASCADEL

2019

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Schemberger, Elder Elisandro
ADB-API-Tracker e ADB-Tracker : uma solução em software e hardware para orientação de operações agrícolas em Zonas de Manejo / Elder Elisandro Schemberger; orientador(a), Eduardo Godoy de Souza; coorientador(a), Claudio Leones Bazzi, 2019.
110 f.

Tese (doutorado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2019.

1. Agricultura de Precisão. 2. Agricultura Digital. 3. Zonas de Manejo. 4. Rastreamento de Operações Agrícolas. I. Souza, Eduardo Godoy de. II. Bazzi, Claudio Leones. III. Título.

ELDER ELISANDRO SCHEMBERGER

**ADB-API-Tracker e ADB-Tracker: uma Solução em Software e Hardware para
Orientação de Operações Agrícolas em Zonas de Manejo**

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais, linha de Pesquisa Geoprocessamento, Estatística Espacial e Agricultura de Precisão, APROVADA pela seguinte banca examinadora:

Orientador – Eduardo Godoy de Souza

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Daniel Cavalcanti Jeronymo

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus de Toledo (UTFPR-TD)

Jerry Adriani Johann

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Silvia Renata Machado Coelho

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Suzana Costa Wrublack

Centro Universitário de Cascavel (UNIVEL)

Cascavel, 12 de fevereiro de 2019

BIOGRAFIA

Elder Elisandro Schemberger nasceu em 09 de julho de 1985 na cidade de Ponta Grossa, Estado do Paraná. No ano de 2007 concluiu o curso de Bacharelado em Informática pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE – Campus Cascavel). Em 2010 ingressou no curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação, área de concentração Sistemas de Informação, nível mestrado, na Universidade Estadual de Maringá (UEM), sob orientação da professora Dra. Elisa Hatsue Moriya Huzita. Em 2013 concluiu o mestrado ao defender a dissertação intitulada “MoRE-GSD – Uma Abordagem para Elicitação e Análise de Requisitos a Partir das Regras de Negócio no Contexto de Desenvolvimento Distribuído de Software”. Em 2015 ingressou no curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais, nível doutorado, na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE – Campus Cascavel), sob a orientação do professor Dr. Eduardo Godoy de Souza, e coorientação do professor Dr. Claudio Leones Bazzi. Atuou como analista de sistemas e como professor em instituições particulares de ensino superior entre fevereiro de 2008 e março de 2014, e desde abril de 2014 é professor do magistério superior em regime de dedicação exclusiva na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Toledo, com lotação no curso de Engenharia de Computação.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meus pais, Valmir e Mercedes, que desde sempre abdicaram dos próprios sonhos para que os meus fossem realizados.

Dedico à minha esposa e filhas, que são meu suporte diário, e minha principal motivação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, autor e consumidor de minha fé, por me capacitar diariamente. Sem Ele eu não teria trilhado caminhos tão longos;

Aos meus pais, Mercedes e Valmir Schemberger, meu motivo de inspiração e orgulho, pelo incondicional suporte em tudo. Mesmo com grandes limitações, jamais deixaram de me apoiar e me incentivar, abdicando dos próprios sonhos para viver e comemorar a realização dos meus. Agradeço e dedico este trabalho especialmente a vocês!

À minha esposa, Josianne. Obrigado por ser minha melhor amiga, e comigo compartilhar meus anseios e desafios, nunca se abstendo dos momentos de tristezas e frustrações. Não chegaria até aqui sem você por perto. Você é a melhor parte de mim;

Aos meus tantos bons amigos, muito obrigado pela compreensão e apoio cotidianos. Certos desafios nos exigem alguma abstinência, mas são temporários, ao contrário de nossa amizade;

Ao meu orientador, Dr. Eduardo Godoy de Souza, por sua paciência e coerência, pelo compartilhamento de conhecimento, o incentivo e as puxadas de orelha. Estas foram ações que me fizeram crescer academicamente e pessoalmente neste período de convivência contigo. Obrigado por acreditar em mim. Aprendi, nestes anos juntos, a ser um professor melhor, um orientador melhor, e a dividir melhor o que detenho – seja conhecimento técnico ou apenas uma palavra amiga!

Ao meu coorientador, Dr. Claudio Leones Bazzi, pela disponibilidade de sempre, o suporte, as sugestões e as orientações sempre precisas;

A meus colegas do PGEAGRI no período 2015/2019, período em que se firmaram ótimas parcerias, desde os estudos em avaliações ou desenvolvimento de trabalhos, até nas dúvidas, medos e incertezas quanto à pesquisa de cada um. Destes, agradeço em especial aos colegas do LAMAP, pela mútua colaboração de sempre. Alguns se tornaram grandes amigos, sendo parte da boa colheita deste período de doutorado;

A todos os professores do PGEAGRI, em especial aos colegas que aceitaram fazer parte da minha banca. Muito me honra vossa disponibilidade em me avaliar e me orientar quanto a essa produção acadêmica;

À UNIOESTE como um todo, Universidade na qual iniciei minha graduação em 2003 e agora concluo o doutorado, 16 anos depois. Essa universidade faz, de fato, parte da minha história;

Por fim, agradeço à UTFPR, especificamente ao campus de Medianeira, pelo suporte com equipamentos e infra-estrutura, e ao campus de Toledo, ambiente que me hospeda como local de trabalho, e no qual desfruto da convivência de bons colegas e ótimos amigos, que em vários momentos foram meu desafogo na carga-horária, substituição em aplicação de provas e afins, me apoiando para a conclusão do doutorado mesmo sem o afastamento das minhas atividades laborais.

ADB-API-TRACKER E ADB-TRACKER: UMA SOLUÇÃO EM SOFTWARE E HARDWARE PARA ORIENTAÇÃO DE OPERAÇÕES AGRÍCOLAS EM ZONAS DE MANEJO

RESUMO

O crescimento do agronegócio tem sido reflexo dos investimentos realizados visando aumentar a eficiência produtiva e reduzir os custos de produção. Nestes investimentos estão inseridos os sistemas computacionais e os dispositivos de eletrônica embarcada utilizados na gestão da produção agrícola, tanto por agricultores como pela comunidade científica. Esta evolução tecnológica propicia uma tomada de decisão mais rápida e precisa, principalmente no contexto da Agricultura de Precisão e da Agricultura Digital, que podem ser viabilizadas para pequenos produtores pela divisão de áreas agrícolas produtivas em zonas de manejo (ZMs), barateando sua implantação. Para definir ZMs se empregam métodos empíricos ou de agrupamento, em geral assistidos via software. Entretanto, softwares e hardwares utilizados neste segmento geralmente são proprietários e dependentes de tecnologias específicas, o que pode inviabilizar seu uso por pequenos produtores. Deste modo, a fim de viabilizar o processo de navegação em ZMs durante operações agrícolas, foi proposta a plataforma ADB-Tracker, que proporciona a interpretação dos shapefiles das ZMs geradas pela aplicação ADB-Map da plataforma AgDataBox (ADB), ou mesmo gerados por outro software de Agricultura de Precisão, a fim de orientar o produtor quanto à navegação em campo durante uma operação agrícola. Esta navegação foi realizada pelo software ADB-Tracker e realizada por um smartphone ou ainda com o uso de um hardware próprio, projetado com componentes de hardware livres, proporcionando, assim, total domínio sobre este, fácil manutenção, escalabilidade, baixo custo e portabilidade. Os dados das operações são persistidos localmente e também na ADB-API-Tracker, a qual implementa rotinas e gera relatórios referentes às operações agrícolas realizadas nas ZMs com suporte do ADB-Tracker. Este trabalho também apresenta o processo de validação desta solução na perspectiva de teste de aceitação do usuário (UAT), que objetivou destacar pontos fortes e fragilidades do ADB-Tracker, tendo como resultado um relatório qualitativo sobre melhorias e deficiências do software aplicativo, orientando, desta forma, os requisitos-chave a serem contemplados em melhoria e implementação.

Palavras-chave: agricultura de precisão, agricultura digital, zonas de manejo, rastreamento de operações agrícolas.

ADB-API-TRACKER AND ADB-TRACKER: A SOFTWARE AND HARDWARE SOLUTION FOR ORIENTATION OF OPERATIONS IN MANAGEMENT ZONES

ABSTRACT

The growth of agribusiness has been an effect of the investments made in order to increase efficiency in production and reduce its costs. These investments include computer systems and embedded electronic devices used in the management of agricultural production, both by farmers and the scientific community. This technological evolution leads to faster and more accurate decision making, especially in the context of Precision Agriculture and Digital Agriculture, which can be made available to small producers by dividing productive agricultural areas into management zones (ZMs), making their implementation cheaper. To define ZMs empirical or grouping methods are employed, usually assisted by software. However, the software and hardware used in this segment are usually proprietary and dependent on specific technologies, which may prevent their use by small producers. The ADB-Tracker platform, which provides the interpretation of the shapefiles of the ZMs generated by the ADB-Map application of the AgDataBox platform (ADB), or even generated by another one, is made possible in order to enable the navigation process in ZMs during agricultural operations. Precision Agriculture software in order to guide the farmer in the field during an agricultural operation. This navigation was performed by the software ADB-Tracker and performed by a smartphone or even using its own hardware, designed with free hardware components, thus providing total mastery over it, easy maintenance, scalability, low cost, and portability. The operations data is persisted locally as well as in the ADB-API-Tracker, which implements routines and generates reports regarding the agricultural operations performed in the ZMs with ADB-Tracker application support. This work also presents the validation process of this solution in the perspective of user acceptance test (UAT), which aimed to highlight strengths and weaknesses of ADB-Tracker, resulting in a qualitative report on improvements and deficiencies for the application software, guiding the key requirements to be addressed for improvement and implementation.

Key-words: precision agriculture, digital agriculture, management zones, agricultural operations tracking.

SUMÁRIO

BIOGRAFIA	ii
DEDICATÓRIA	iii
AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo geral	4
2.2 Objetivos específicos.....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 Atributos do solo e sua variabilidade espacial.....	5
3.2 Geração e comparação de mapas temáticos.....	6
3.3 Agricultura de precisão	7
3.4 Agricultura Digital.....	7
3.5 Zonas de Manejo.....	9
3.5.1 Definição e avaliação de zonas de manejo.....	10
3.6 Softwares utilizados na agricultura de precisão	11
3.6.1 Softwares para definição de ZMs.....	12
3.7 Serviços web	15
3.7.1 Microserviços.....	16
3.8 Eletrônica embarcada em máquinas agrícolas	17
4. REFERÊNCIAS	19
5. ARTIGO 1 – ADB-API-TRACKER E ADB-TRACKER: UMA SOLUÇÃO EM SOFTWARE E HARDWARE PARA ORIENTAÇÃO DE OPERAÇÕES AGRÍCOLAS EM ZONAS DE MANEJO	27
5.1 Introdução	28
5.2 Referencial teórico.....	31
5.2.1 Delineamento de ZMs.....	31
5.2.2 A plataforma AgDataBox (ADB).....	33
5.3 Material e Métodos	38
5.3.1 ADB-API-Tracker – Arquitetura e desenvolvimento	38
5.3.2 ADB-Tracker – Desenvolvimento e Uso.....	45
5.3.3 Dispositivo especializado de hardware e o ADB-Tracker-2.....	51
5.4 Resultados e Discussão	57

5.5	Conclusões.....	60
5.6	Referências	61
6.	ARTIGO 2 – VALIDAÇÃO DA PLATAFORMA ADB-TRACKER NA PERSPECTIVA DE TESTE DE ACEITAÇÃO DO USUÁRIO.....	65
6.1	Introdução	66
6.2	Referencial Teórico.....	70
6.2.1	Agricultura digital	70
6.2.2	Zonas de Manejo.....	71
6.2.3	Requisitos em softwares para agricultura de precisão e agricultura digital	72
6.2.4	Softwares para definição de ZMs.....	73
6.2.5	ADB-Tracker – Uma solução para orientar a navegação em ZMs durante operações agrícolas	74
6.2.6	Teste de Software	76
6.3	Materiais e métodos	78
6.3.1	Planejamento da Validação UAT	78
6.3.2	Preparação da Validação UAT.....	82
6.3.3	Especificação.....	83
6.4	Execução e Entrega – Resultados e Discussão.....	84
6.5	Conclusões	89
6.6	Trabalhos futuros	90
6.7	Referências	91
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura 1	Fluxograma do protocolo de Souza et al. (2018a) para delinear ZMs.	32
Figura 2	Arquitetura da plataforma web AgDataBox.	34
Figura 3	ADB-Mobile: Interface administrativa (a); Interface de demarcação de áreas (b).	35
Figura 4	Organização dos módulos que compõem o software AgDataBox-Map.	36
Figura 5	Interface do AgDataBox-Admin (ADB-Admin).	37
Figura 6	Representação da disposição de sensores em campo conectados com a ADB-API.	37
Figura 7	Representação da ADB-API-Tracker e seu acesso via interface web.	39
Figura 8	Banco de dados da ADB-API-Tracker: Dados e seus respectivos tipos.	40
Figura 9	Interface de login da ADB-API-Tracker.	41
Figura 10	Interface “Usuários” da ADB-API-Tracker.	42
Figura 11	Interface de importação das camadas do arquivo shapefile para a ADB-API-Tracker.	43
Figura 12	Interface de relatório das operações realizadas em campo.	44
Figura 13	A ADB-API-Tracker e a ADB-API: Possibilidade de troca de dados via HTTP/JSON.	44
Figura 14	Comunicação entre a ADB-API-Tracker e o ADB-Tracker.	45
Figura 15	Arquitetura offline first, do framework React Native.	46
Figura 16	Diagrama de atividades da UML (UnifiedModelingLanguage) com o fluxo de trabalho entre o ADB-Tracker e a ADB-API-Tracker.	47
Figura 17	ADB-Tracker: Interface de autenticação (a); Interface para escolha da funcionalidade a ser realizada após autenticação (b).	48
Figura 18	ADB-Tracker: Interface de configuração de uma nova operação (a); Interface para escolha o shapefile que fará uso na operação configurada (b).	49
Figura 19	ADB-Tracker: Interface de operação para determinada área delimitada com três ZMs (a); Interface de operação para determinada área delimitada com três ZMs (b).	50
Figura 20	ADB-Tracker: Interface de relatórios de operações realizadas (a); Interface de relatório detalhado para determinada operação realizada (b).	51
Figura 21	Microcomputador RaspberryPi 3.	52
Figura 22	Diagrama de circuito do dispositivo de hardware desenvolvido para execução do ADB-Tracker.	53
Figura 23	Case para proteção e manipulação do dispositivo de hardware projetado: Parte frontal (a) e parte posterior (b).	54
Figura 24	O dispositivo de hardware finalizado.	55

ARTIGO 2

Figura 1	Diagrama de atividades da UML para o delineamento das zonas de manejo, proposto por Souza et al. (2018).....	72
Figura 2	Diagrama de atividades da UML com o fluxo de trabalho entre o ADB-Tracker e a ADB-API-Tracker.....	76
Figura 3	Áreas experimentais utilizadas na validação UAT do ADB-Tracker, com as grades amostrais: Céu Azul/PR (A); e Serranópolis do Iguaçu/PR (B).	80
Figura 4	Fluxograma das etapas para geração dos shapefiles das ZMs delineadas conforme o protocolo de Souza et al. (2018), para validação UAT do ADB-Tracker.	81
Figura 5	Shapefiles utilizados na validação UAT do software ADB-Tracker, com delineamento em duas e três ZMs, para as áreas A e B.....	83
Figura 6	Interface de autenticação (a); e interface de opção para iniciar nova operação (b).	84
Figura 7	Interface para selecionar o delineamento das ZMs desejado (a); e interface utilizada para a configuração da operação agrícola (b).....	85
Figura 8	Interface destacando que o operador está sobre a Área 1 (a); e interface destacando que o operador está Fora da Área de operação (b).....	88
Figura 9	Simulação de uma operação agrícola na área A delineada em duas ZMs.....	89

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela 1	Rotinas em Python para obter os dados do GPS conectado via conector GPIO da Raspberry e adaptar seu formato para leitura do ADB-Tracker	56
Tabela 2	Rotina em Python para reiniciar a obtenção de dados via GPS do dispositivo caso o formato não esteja compatível para o ADB-Tracker.....	56

ARTIGO 2

Tabela 1	Requisitos e critérios utilizados para a validação UAT do software ADB-Tracker	79
Tabela 2	Configuração dos equipamentos utilizados e descrição do usuário para a validação UAT do software ADB-Tracker.....	82
Tabela 3	Avaliação obtida sobre os requisitos na validação UAT do software ADB-Tracker	86

LISTA DE ABREVIATURAS

ANOVA	Análise de Variância
AD	Agricultura Digital
ADB	AgDataBox
AP	Agricultura de Precisão
API	Application Programming Interface
CDR	Coefficiente de Desvio Relativo
EUA	Estados Unidos da América
FPI	Fuzziness Performance Index
GPS	Sistema de Posicionamento Global
ha	Hectare
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IDE	Integrated Development Environment
JVM	Java Virtual Machine
JSON	JavaScript Object Notation
m	Metro
MZA	Management Zone Analyst
NCE	Normalized Classification Entropy
PCI	Placa de Circuito Impresso
RAM	Random Access Memory
SDUM	Software para Definição de Unidades de Manejo
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
UML	Unified Modeling Language
USB	Universal Serial Bus
UAT	User Acceptance Testing
ZMs	Zonas de Manejo

1. INTRODUÇÃO

A produção agrícola no Brasil faz parte de um cenário favorável, especialmente para culturas de grãos. O aumento da produção, em especial de soja e milho, é ratificado pelos índices alcançados de 118,9 milhões de toneladas de soja e 82,9 milhões de toneladas de milho contabilizados na safra 2017/2018 (CONAB, 2018).

Embora se apresentem favoráveis, os números relativos à produção e à produtividade cada vez maiores ainda podem ser maximizados. Gontijo et al. (2012) afirmaram que a limitação da produção ainda ocorre pela baixa fertilidade do solo, causada tanto por fatores naturais quanto pela ação humana, que acarretam na variabilidade espacial dos atributos químicos do solo a ser cultivado. Deste modo, se faz necessário o manejo do solo a fim de minimizar suas deficiências, principalmente de matéria orgânica e micronutrientes (BURAK; PASSOS; ANDRADE, 2012). Silva Neto (2011) também afirmou que é possível aumentar ainda mais a produção de soja e milho no Brasil, haja vista que este é o único país entre os maiores produtores mundiais que pode expandir as áreas cultivadas e, logo, expandir também a produção.

Esse aumento produtivo no âmbito da agricultura é também reflexo da evolução que todas as áreas do conhecimento têm apresentado, cada qual com suas particularidades. Nesta linha de evolução, máquinas e implementos têm sido associados com tecnologias embarcadas para serem utilizados nas variadas operações agrícolas, exigindo a cada novidade tecnológica, maior conhecimento técnico e capacitação operacional daqueles que a operam. Além de conhecimento dos equipamentos utilizados em campo, se faz necessário também o conhecimento em áreas diversas, tais como a informática. Aplicativos computacionais (softwares) cada vez mais são utilizados nos procedimentos relativos a uma safra agrícola, desde a análise para manejo do solo antes do plantio, na colheita, até a etapa de pós-colheita. A preocupação com questões ambientais e financeiras também ratifica a crescente necessidade de utilização destes artefatos tecnológicos.

Além disso, para manter, e até mesmo aumentar, a atual competitividade do setor agrícola, se faz necessário um constante desenvolvimento científico e tecnológico, principalmente em áreas relacionadas à melhoria do manejo do solo. Para isso, é necessário planejamento e gerenciamento das áreas agrícolas, relacionando dados de atributos químicos e de relevo do solo, bem como dados de rendimento dos talhões, a fim de auxiliar a tomada de decisões (SOUZA et al., 2010). É neste contexto que se insere a Agricultura de Precisão (AP) e, mais recentemente, a Agricultura Digital (AD).

A AP é constituída por um conjunto de tecnologias que visam auxiliar o produtor no gerenciamento da variabilidade existente em suas áreas cultiváveis bem como pela adoção de melhores práticas para o manejo, com o objetivo de maior produtividade com redução de custos na aplicação de insumos (FERRAZ et al., 2012). A AD utiliza das tecnologias

tradicionais associadas à Agricultura de Precisão, somadas a redes inteligentes e ferramentas de gerenciamento de dados, objetivando utilizar todas as informações e conhecimentos disponíveis a fim de permitir a automação de processos sustentáveis na agricultura. A constante evolução nestas duas áreas e sua aplicação no setor agrícola tem sido notória nos últimos anos, haja vista o aumento e disponibilidade de sensores, atuadores e microprocessadores, redes de comunicação aprimoradas cada vez mais presentes no campo, comunicação em nuvem e BigData. Dessa forma, o fluxo de informações não se restringe somente aos equipamentos agrícolas de difícil acesso, mas também aos novos serviços oferecidos com base em algoritmos que transformam dados em informações (CEMA, 2017).

Embora haja certa abundância de pesquisas relacionadas à AP e/ou à AD, as tecnologias geradas ainda são pouco empregadas pelos produtores de menor porte devido ao alto custo de implantação e manutenção envolvidos. Tais custos estão associados ao uso de máquinas e equipamentos com sensores e softwares, necessidade de utilização de densas grades amostrais e, ainda, de profissionais com expertise para análise dos dados coletados (BAZZI et al., 2013; FERRAZ et al., 2012).

Uma das possibilidades para viabilizar economicamente a aplicação da AP é a definição de Zonas de Manejo (ZMs), podendo-se empregar os mesmos sistemas utilizados na agricultura convencional (BAZZI et al., 2013; FERRAZ et al., 2012). Uma ZM é uma sub-região do talhão que expressa uma combinação funcionalmente homogênea de fatores limitantes à produção para os quais uma taxa única de insumo é apropriada (DOERGE, 2000). Estas ZMs podem ser determinadas a partir da produtividade, atributos físicos e químicos do solo, de condutividade elétrica e características topográficas. Com a definição das ZMs, torna-se possível aplicar doses uniformes de insumos internamente a cada sub-região, e aplicar tratamentos diferenciados entre as ZMs geradas (RODRIGUES JUNIOR et al., 2011; FLEMING; HEERMANN; WESTFALL, 2004).

Como a quantidade de variáveis bem como a densidade dos dados coletados em campo é grande, faz-se necessário o uso de softwares para organização e processamento dos dados visando delinear as ZMs. Tais softwares permitem armazenamento, manipulação, análise e visualização dos resultados por meio de mapas digitais, proporcionando melhor interpretação, auxiliando na tomada de decisão, redução dos custos e otimização de recursos, contribuindo para uma maior produtividade e maximização dos lucros (NESI et al., 2013).

Nesse contexto, Bazzi et al. (2013) apresentaram o software SDUM (Software para Definição de Unidades de Manejo), desenvolvido em linguagem JAVA (livre e multiplataforma). Este software foi proposto objetivando automatizar diversos métodos de agrupamento e interpolação de dados, bem como procedimentos para otimização e avaliação de ZMs. É, até o momento, o único software disponível que integra todas as etapas da definição e avaliação de ZMs até a geração dos respectivos mapas temáticos em um mesmo ambiente, e que tem sua distribuição de forma gratuita e código aberto.

Mais recentemente o SDUM foi reprojetoado e passou a ser reescrito para se tornar integralmente um software Web, baseado na arquitetura de microserviços, a fim de proporcionar melhor usabilidade e acessibilidade por seus usuários, não mais dependendo de instalação em máquinas locais, e podendo integrar novas funcionalidades de forma escalonável e independente, atendendo a uma demanda de serviços ainda não atingida. Esta nova roupagem desse projeto passou a ser denominada de AgDataBox, projetada sob uma arquitetura de serviços Web, e com muitos desafios em aberto. Entre estes novos desafios, um de grande destaque está em como exportar os mapas temáticos das ZMs definidas e validadas pelos respectivos módulos da AgDataBox para o campo de forma visual e interativa, a fim de serem utilizadas durante uma operação agrícola, provendo navegação com o objetivo de guiar o operador pelas ZMs durante uma operação agrícola, além de coletar dados em tempo real e enviá-los ao servidor do AgDataBox-API para relatórios e análises futuras.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver uma plataforma composta de software e hardware livres, denominada ADB-Tracker, para interpretar os mapas temáticos das zonas de manejo em formato shapefile, a fim de guiar o produtor em suas operações agrícolas.

2.2 Objetivos específicos

Para que o objetivo geral fosse alcançado, os seguintes objetivos específicos foram especificados:

- Implementar o módulo servidor, denominado ADB-API-Tracker, para: (i) Cadastro de usuários; (ii) Importação e transformação das camadas dos arquivos shapefiles gerados pelos módulos do AgDataBox-Map em informação interpretável para um software de navegação; (iii) Gerenciar a associação dos shapefiles aos usuários autenticados via ADB-Tracker;
- Implementar o módulo cliente, denominado ADB-Tracker, para smartphones Android, com autenticação na ADB-API-Tracker, para importar o shapefile associado a seu usuário da ZM de interesse e utilizá-lo como orientação na navegação durante uma operação agrícola;
- Implementar uma versão adaptada do software ADB-Tracker, denominado ADB-Tracker 2, capaz de executar em um dispositivo de hardware independente, para otimizar leituras de sensores com maior precisão e prover independência de fabricantes tanto de smartphones quanto de versões de sistemas operacionais presentes nos smartphones;
- Desenvolver o dispositivo de hardware com componentes livres e de baixo custo, capaz de executar o software ADB-Tracker 2, implementado especificamente para este hardware;
- Realizar a validação da plataforma ADB-Tracker sob a perspectiva de teste de aceitação do usuário (User Acceptance Testing – UAT) – estágio final de desenvolvimento de um software antes de liberá-lo para uso operacional.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Atributos do solo e sua variabilidade espacial

A produtividade de uma área agrícola, entre outros fatores, é bastante influenciada pelos atributos físicos e químicos de seu solo, assim como por sua topografia (GUEDES et al., 2012). Os atributos químicos essenciais são também chamados de nutrientes, e podem ser classificados, de acordo com a absorção pelas plantas, em macronutrientes ou em micronutrientes. As plantas necessitam em quantidades maiores os macronutrientes, sendo eles Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Magnésio (Mg), Enxofre (S) e Cálcio (Ca). Os micronutrientes são exigidos em quantidades menores pelas culturas, sendo eles Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn) e Molibdênio (Mo). Outro importante atributo químico do solo, correlacionado com a acidez, é o pH (potencial Hidrogeniônico), que interfere na disponibilização de vários outros elementos químicos (LIMA, 2010). Analisar a quantidade disponível dos atributos químicos do solo se faz importante para a avaliação de suas características e para a identificação de possíveis problemas nutricionais que possam exercer influência negativa sobre a produtividade (GUEDES et al., 2012).

Já os atributos físicos referem-se às condições do solo com relação à infiltração, retenção e disponibilização de água para as plantas, facilidade de circulação do ar e penetração das raízes, estão associados a estrutura e estabilidade do solo (CARMO et al., 2011; BEUTLER et al., 2012; CARVALHO et al., 2016). Os atributos físicos micro e macroporosidade, porosidade total, umidade e densidade do solo possibilitam verificar suas condições para o desenvolvimento das plantas, e indicam o nível de compactação, característica que afeta diretamente o desenvolvimento das raízes (BEUTLER et al., 2012). Além disso, estes atributos fornecem informações para estimar a possibilidade de erosão e indicar o correto sistema de manejo do solo (DALBIANCO, 2009).

Outro atributo físico de elevada importância é a textura do solo, que se refere à proporção do tamanho de suas partículas minerais, é analisada por meio da granulometria, que obtém a porcentagem de areia, silte e argila na composição do solo, de acordo com seu diâmetro. Este atributo é um dos mais estáveis, com variabilidade decorrente da sua ação natural, sendo um atributo de grande importância na identificação e classificação do solo (KIEHL, 1979; KLEIN et al., 2010; OLIVEIRA JUNIOR; SOUZA; MELO, 2010).

Entretanto, independentemente de ser um atributo físico ou químico, a variabilidade espacial das propriedades do solo é inerente à natureza deste devido a fatores geológicos (WANG; SHAO, 2013). Corá et al. (2004) acrescentam que as práticas de manejo do solo e da cultura são também adicionais de variabilidade, pois podem alterar atributos químicos, físicos, mineralógicos e biológicos, com impacto maior nas camadas mais superficiais do solo.

Portanto, o estudo da disponibilidade e da variabilidade dos atributos químicos e

físicos do solo se faz importante, haja vista sua direta relação com a produtividade de uma área agrícola, com a definição de grades de amostragem, e com a interpretação de resultados – logo, com a tomada de decisão acerca de aplicações racionais de insumos (SILVA JUNIOR et al., 2012).

3.2 Geração e comparação de mapas temáticos

As variáveis do solo são obtidas por processos de amostragem, havendo necessidade de se gerar uma superfície contínua que pode ser expressa em um mapa (JOHANN et al., 2004). Após análises laboratoriais, e em conjunto com os dados estimados, torna-se possível a construção de mapas temáticos, gerados por métodos de interpolação, que visam demonstrar a variabilidade espacial dos atributos (ASSUMPÇÃO et al., 2007).

Dessa forma, a geração de mapas temáticos é diretamente ligada à coleta, análise, interpretação e representação em um mapa dos dados coletados e/ou estimados em campo, identificando semelhanças e possibilitando uma visualização gráfica de correlações espaciais. Alguns pontos chave na criação de mapas temáticos incluem seleção do sistema de coordenadas, análise exploratória de dados, interpolação de dados, número de classes e a escolha do esquema de cores que seja eficaz (SOUZA et al., 2018).

Conforme aumenta o conjunto de dados amostrais maximiza-se também a geração de novas análises e mapas temáticos mais próximos da realidade. Para Figueiredo e Vieira (2007), a exatidão de um mapa indica a proximidade de determinada estimativa a seu valor real, agregando-lhe maior confiabilidade. Nesse sentido, mapas temáticos podem ser comparados a partir de índices de concordância, como os índices exatidão global e índice Kappa (SANO; SANTOS; MENESES, 2009). Entretanto, estes índices dependem da distribuição dos dados em classes de forma igualitária entre o mapa de referência e o mapa modelo. As classificações correspondentes nos dois mapas são comparadas por uma matriz de erros, na qual os valores da diagonal principal indicam a quantidade de pixels nos quais a classificação nos dois mapas é a mesma, e os valores nas demais posições correspondem a quantidades de pixels com classificações diferentes (ARAÚJO et al., 2011).

O índice de exatidão global determina a similaridade entre os mapas comparados (mapa referência e mapa modelo) pela razão entre o total de elementos que são classificados na mesma classe em ambos os mapas e o total geral de elementos em cada mapa (CONGALTON; GREEN, 1993).

Já o índice Kappa, também frequentemente utilizado para avaliar a acurácia entre mapas temáticos, é um coeficiente de concordância para escalas nominais que usa a proporção de concordância depois que a concordância atribuída à casualidade é descartada. Essa concordância dada pelo acaso é calculada pelo produto dos valores das linhas e colunas marginais da matriz (COHEN, 1960). Essa é uma característica notória deste índice, pois o

mesmo considera todos os elementos da matriz, e não apenas aqueles da diagonal principal.

Ainda para comparar mapas temáticos é possível utilizar o Coeficiente de Desvio Relativo (CDR), proposto por Coelho et al. (2009). O CDR expressa a diferença média dos valores de cada mapa, em módulo, em relação ao mapa padrão, apresentando a porcentagem de exatidão. Suszek et al. (2011) consideraram este índice útil na comparação de mapas temáticos de produtividade de soja, ao passo que Bazzi et al. (2013) o consideraram útil na comparação entre mapas de produtividade de milho.

3.3 Agricultura de precisão

A Agricultura de Precisão (AP) surgiu nos EUA nos anos finais do século XX, com a proposta de ser um sistema de gerenciamento da variabilidade espacial e temporal da produção agrícola e de fatores correlatos, por meio de procedimentos e tecnologias como Sensoriamento Remoto, Sistema de Posicionamento Global (GPS), Sistemas de Informação Geográfica (SIG), entre outras (MORAL; TERRÓN; REBOLLO, 2011; MONDO et al., 2012).

Um dos objetivos maiores da AP é aumentar a produtividade por meio da correção dos nutrientes do solo, tratando de forma localizada cada atributo que exerce influência sobre a produção (HEDLEY, 2015). Esse objetivo é alcançado por meio de sistemas que aplicam os insumos em quantidades certas e em locais deficitários numa mesma unidade de produção, ocasionando economia, diminuição do impacto ambiental, maior eficiência do processo de cultivo e maior produtividade, tornando-se um processo de gestão da produção agrícola (MOLIN; RABELO, 2011; COLAÇO et al., 2012).

Entretanto, o mapeamento das condições do solo quanto à disponibilidade de seus nutrientes dentro de uma área produtiva requer máquinas e sensores específicos, seguidos de análises em laboratório das amostras coletadas para determinação da variabilidade espacial na área produtiva, o que gera um elevado custo para a implantação da AP, sendo um investimento que, em geral, não apresenta retorno financeiro de forma imediata para quem a utiliza (HEDLEY, 2015).

Por conta do custo elevado com os processos e equipamentos necessários, a AP ainda é pouco viável para pequenos produtores (FERRAZ et al., 2012; BAZZI et al., 2013). Somado a isso, há o custo envolvido com a necessidade da utilização de uma grade amostral densa na detecção da variabilidade espacial dos atributos do solo visando a elaboração de mapas temáticos que representem a situação real da área produtiva (ASSUMPÇÃO et al., 2007).

3.4 Agricultura Digital

Para que seja possível a implantação da AP, bem como um constante monitoramento

de uma área agrícola, é preciso que se tenha conhecimento detalhado desta área. Para isso, se torna fundamental o uso de ferramentas tecnológicas adequadas para coletar e apresentar informações de forma clara, a fim de que a tomada de decisão a partir de tais informações impacte positivamente naquela área produtiva de interesse, na direção de produzir mais no mesmo espaço e realizar o correto gerenciamento dos recursos naturais. Neste ínterim surge um termo que tem cada vez mais ganhado corpo: Agricultura Digital (AD).

A AD é a evolução do conceito de “Terra Digital”, proposto nos anos 1990, e pode ser vista como um avanço da AP em procedimentos de produção agrícola (SHEN; BASIST; HOWARD, 2010). A AD é composta pela AP somada à automação e ao gerenciamento de BigData (grande volume de dados coletados), principais artefatos digitais responsáveis pelas transformações tecnológicas na agricultura nos últimos anos (BRONSON, 2018). Nesta abordagem, grande quantidade de dados pode ser coletada a partir de satélites, drones equipados com câmeras multiespectrais, redes de diferentes sensores sem fio, aplicativos de smartphones, softwares de computadores, dentre outros. Estes dados são armazenados em bancos de dados de computadores e, posteriormente, analisados por algoritmos especializados na extração de informações, tornando a AD uma abordagem aplicável em níveis práticos diversos.

A AP ganhou maior destaque após a difusão das tecnologias de GNSS (Global Navigation Satellite Systems), popularmente conhecida como sistema GPS (Sistema de Posicionamento Global), aliadas aos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e às tecnologias de sensoriamento remoto – forma pela qual muitos dados para uso da AP podem ser coletados de forma não invasiva. Desta forma, coletas de dados podem ser realizadas diretamente pelos equipamentos agrícolas instrumentados com sensores e com GPS para identificação do posicionamento geográfico daquele dado adquirido (BRONSON, 2018). Tendo sido coletados os dados, a tomada de decisão é assessorada por algoritmos computacionais aplicados aos dados, gerando informações para indicar o uso mais correto de equipamentos agrícolas de precisão (WOLFERT et al., 2017). Esse é o contexto em que a AD se insere.

O desafio para que a AD continue evoluindo e se torne cada vez mais acessível está em desenvolver sistemas que gerenciem os dados relevantes para o setor agrícola, que incluem desde as condições do ambiente, do solo, da planta, da produção e do mercado. Para obter informações relevantes sobre os dados coletados de forma a auxiliar o agricultor na tomada de decisão, técnicas de análise de dados e algoritmos de inteligência computacional são necessários. Neste contexto, alguns trabalhos envolvendo vários tipos de estruturas de softwares com aplicabilidades diferentes foram propostos (COLEZEA et al., 2018; MUSAT et al., 2017; SHEN; BASIST; HOWARD, 2010).

Um deles, denominado CLUeFARM, é uma plataforma híbrida, com computação local e em nuvem, que fornece recursos para os agricultores gerenciarem suas propriedades,

com a possibilidade de coletar e analisar dados de sensores próprios ou, ainda, de utilizar dados de fontes externas. A plataforma objetiva ser uma comunidade colaborativa de agricultores e especialistas na agricultura (COLEZEA et al., 2018).

Outra solução proposta trata-se de uma plataforma inteligente para ajudar agricultores a gerenciar estufas e interagir com outros agricultores. A plataforma é baseada em computação em nuvem e faz gerenciamento de modelos de dados, análise de dados e disponibilização de serviços (MUSAT et al., 2017).

Uma terceira solução a ser destacada, o AEGIS, é um sistema de AD canadense para gerenciamento de risco agrícola, que auxilia o produtor a avaliar os riscos devido às mudanças climáticas, a desenvolver um plano de proteção de receita e a gerar um plano de gerenciamento da qualidade do solo (SHEN; BASIST; HOWARD, 2010).

O rápido desenvolvimento da AD tem sido alavancado tanto pela indústria quanto pela academia, mas tem ainda como desafio seus custos pouco atrativos, principalmente para pequenos produtores. Uma possível solução para mitigar estes custos é a definição de Zonas de Manejo.

3.5 Zonas de Manejo

A prática da AP necessita do desenvolvimento e uso de sensores e equipamentos especializados para realizar análises e aplicações de nutrientes e defensivos a taxas variadas, a fim de reduzir custos, permitir análise detalhada do solo e plantas, e melhorar o processo de produção (BAZZI et al., 2013). Entretanto, a questão econômica é um agravante para viabilizar a adoção da AP, principalmente para pequenos produtores (KHOSLA et al., 2008). Assim sendo, faz-se necessário viabilizar o acesso às tecnologias e aos procedimentos associados à AP para estes pequenos produtores de modo menos oneroso, contexto no qual surge a definição de zonas de manejo (ZMs) (SUSZEK et al., 2011).

ZMs tratam-se de sub-regiões dentro de um talhão que tenham topografia e condições do solo espacialmente homogêneas (XIN-ZHONG et al., 2009; MORAL; TERRÓN; REBOLLO, 2011). Tais condições referem-se aos atributos químicos e físicos, dados topográficos, condutividade elétrica aparente do solo, índices de vegetação, bem como produtividade, gerando áreas que serão tratadas internamente como homogêneas, e tratadas de modo diferentes entre si em relação à aplicação de insumos e defensivos (MORAL; TERRÓN; SILVA, 2010; RODRIGUES JUNIOR et al., 2011; MOLIN; FAULIN, 2013). As ZMs facilitam a aplicação a taxa variada e são indicadores para amostragem do solo e da cultura, além de se apresentarem como uma alternativa viável para a AD do ponto de vista econômico.

Pode-se também utilizar das ZMs para direcionar o processo de amostragem do solo, reduzindo o número de análises necessárias na geração dos mapas temáticos utilizados na aplicação de insumos, além da variação de determinadas operações de manejo (YAN et al.,

2007). Isso permite a utilização dos equipamentos já utilizados na agricultura convencional, agregando os mesmos benefícios da AP sem obrigatoriamente realizar grandes investimentos, haja vista que a heterogeneidade só é considerada existente entre ZMs diferentes, o que colabora na minimização dos custos para a gestão das culturas (XIN-ZHONG et al., 2009; CID-GARCIA; BRAVO-LOZANO; ROIS-SOLIS, 2014).

Embora a utilização de ZMs possa produzir resultados inferiores à aplicação localizada quando comparados seus resultados, há relatos na literatura de aplicação desta adaptação da AP com resultados bastante satisfatórios com diferentes culturas e diferentes atributos do solo (FRAISSE; SUDDUTH; KITCHEN, 2001; YAN et al., 2007, RODRIGUES JUNIOR et al., 2011; BAZZI et al., 2013; CID-GARCIA; BRAVO-LOZANO; ROIS-SOLIS, 2014).

3.5.1 Definição e avaliação de zonas de manejo

A definição das ZMs pode ocorrer por meio de inúmeras técnicas, embora todas elas possam ser organizadas em duas grandes categorias: métodos empíricos ou métodos de análise de agrupamento (YAN et al., 2007).

Os métodos empíricos são baseados no uso de conhecimento especializado e distribuição da produtividade para delinear uma área produtiva em partes, sendo mais simples e dependentes de decisões subjetivas. Estes métodos tornam-se mais precisos quanto maior for o número de safras analisadas (FRAISSE; SUDDUTH; KITCHEN, 2001). Na categoria de métodos empíricos, é possível destacar o método de padronização de dados, de Larscheid e Blackmore (1996), e o método da normalização de dados, de Swindell (1997). Ambos os métodos são orientados apenas pela produtividade da cultura para definir as ZMs, isto é, não levam em consideração nenhum outro atributo que possa influenciar tal produtividade alcançada.

Já os métodos de agrupamentos são considerados mais complexos do que os empíricos, mas permitem maior diferenciação entre classes com uso de critérios mais objetivos, pois empregam os atributos físicos e químicos do solo aliados às suas informações espaciais, como a topografia e a produtividade, na geração das ZMs (RODRIGUES JUNIOR et al., 2011). Entre os métodos de agrupamento utilizados na geração de ZMs, dois algoritmos são bastante frequentes: K-means e Fuzzy C-means. Estes dois algoritmos particionam o conjunto de n elementos em k grupos disjuntos, tendo como referência um centróide para cada grupo, e realizam o agrupamento de forma automática com base em algum critério de particionamento a partir do centróide definido utilizando-se um tipo de medidas de similaridade (distância euclidiana, por exemplo), gerando as classes sem a subjetividade que ocorre nos métodos empíricos (RODRIGUES JUNIOR et al., 2011; MILNE et al., 2012). O que os diferencia é o modo como o centróide é definido e como suas iterações de execução ocorrem

(XU; WUNSCH, 2009).

Entretanto, independentemente do método de geração das ZMs, elas devem ser avaliadas a fim de verificar se o delineamento resultante representa diferença significativa no potencial produtivo da cultura de interesse, isto é, se cada ZM pode ser tratada internamente de forma homogênea, mas de forma diferenciada do restante do talhão, e ser utilizada como fonte de recomendação e de análise para atributos do solo (MORAL; TERRÓN; SILVA, 2010; SALEH; BELAL, 2014). Há vários métodos de avaliação que podem ser aplicados às ZMs delineadas, com destaque para a RV (Redução da Variância), o FPI (Fuzziness Performance Index), o NCE (Normalized Classification Entropy) e a Análise de Variância (ANOVA), cada qual utilizado de acordo com o método de geração das ZMs empregado e/ou com o atributo de interesse na avaliação – embora em geral o recomendado seja a produtividade (DOBERMANN, 2003).

A Redução da Variância é um método que pode também ser utilizado na descoberta do número ideal de ZMs para uma área produtiva. Ao passo que aumenta o número de ZMs, o valor da Redução da Variância aumenta até estabilizar-se, sendo este o número ideal de ZMs para determinado talhão (LI et al., 2007).

O FPI é um método que afere o grau de separação entre as classes, isto é, o nível de pertinência compartilhado entre grupos, utilizando valores entre zero e um, no qual valores mais próximos de zero indicam que grupos distintos têm menor grau de compartilhamento de dados entre elas, ao passo que valores mais próximos de um indicam elevado grau de compartilhamento dos membros entre as classes. Já o método NCE é uma estimativa do nível de dificuldade para organização de certa quantidade de grupos, sendo que zero indica alta facilidade e um significa alta dificuldade de organização (FRIDGEN et al., 2004).

Deste modo, a quantidade ideal de ZMs se dá quando se tem os menores valores para o FPI e o NCE, e valores maiores para a Redução da Variância (TAGARAKIS et al., 2013). A ANOVA pode então ser utilizada para verificar se as ZMs geradas representam grupos diferentes para determinada significância utilizada. Este método de avaliação considera que as amostras são independentes dentro de cada ZM (BAZZI, 2011). Depois de geradas e avaliadas as ZMs, pode-se então gerar os mapas temáticos destas, a fim de poder trabalhar com elas de forma gráfica, o que pode contribuir para uma melhor compreensão dos produtores rurais.

3.6 Softwares utilizados na agricultura de precisão

Softwares são programas de computador que devem prover funcionalidades requeridas pelo usuário com determinado desempenho, além de ser confiável, fácil de manter e de usar. A amigabilidade de um software com o usuário é essencial, bem como a redução do custo de desenvolvimento ou de uso (SOMMERVILLE, 2015). Ao desenvolver um software

sua documentação é também importante, compondo o alicerce para um desenvolvimento bem-sucedido, de modo a fornecer um guia para a sua manutenção ou seu aprimoramento. A geração da documentação e de modelos para um software pode ser facilitada por meio do levantamento de requisitos, etapa essencial para a análise e a modelagem do sistema computacional (PRESSMAN, 2016).

Há uma grande gama de softwares que oferecem suporte ao geoprocessamento e à manipulação de imagens, mas como a maioria deles não foi desenvolvida especialmente para manipular dados agrícolas e surgiram antes da AP e da AD propriamente dita, não são os mais adequados para esse fim, mesmo passando por diversas adaptações (MURAKAMI et al., 2007).

Com o avanço da tecnologia (tanto de software quanto de hardware) houve grande aumento no acesso a dispositivos computacionais e à Internet, facilitando a coleta e a manipulação de dados, gerando também avanço na AP, que depende de uma exaustiva quantidade de dados para realizar o gerenciamento ao nível de propriedades rurais. Ainda assim, a aquisição e a análise de dados continua sendo um trabalho oneroso, haja vista que estes são gerados a partir de fontes que raramente são interligadas (SORENSEN et al., 2010).

Deste modo, um sistema computacional desenvolvido especificamente para o gerenciamento de propriedades agrícolas tem como principais requisitos: (a) Um projeto que atenda às necessidades dos agricultores; (b) Uma interface gráfica intuitiva; (c) Apresentação de métodos de processamento dos dados automatizados; (d) Uma interface que permita o acesso à funções de processamento e análise de forma fácil; (e) A integração de conhecimento do usuário; (f) Comunicação com outros softwares; (g) Escalabilidade; e (h) Acessibilidade financeira (MURAKAMI et al., 2007).

Assim sendo, um software voltado para a AP de forma a se enquadrar de fato na AD e especificamente para atuar com ZMs, precisa trabalhar com diversos formatos de dados, ter comunicação com outras soluções computacionais, bem como oferecer interfaces lógicas e intuitivas. Estes requisitos raramente são atendidos, pois a maioria dos softwares desenvolvidos para a gestão agrícola são comerciais e independentes entre si (NIKKILA; SEILONEN; KOSKINEN, 2010).

3.6.1 Softwares para definição de ZMs

É possível definir ZMs por meio da combinação de softwares que automatizem as técnicas associadas aos passos necessários para tal. Nesse sentido, uma maneira de realizar a definição de ZMs seria obter as análises geoestatísticas dos atributos do solo através do software VESPER¹, a fim de obter os semivariogramas necessários para a interpolação dos

¹ Disponível em: <http://sydney.edu.au/agriculture/pal/software/vesper.shtml>

dados, que devem ser realizados por alguma técnica associada com suporte do software R², por exemplo. A partir das interpolações geradas, é possível estabelecer as classes de interpretação para cada atributo e gerar os mapas no formato raster. Estes, por sua vez, devem ser convertidos para o formato vetorial no software ArcGIS³. Após isso, no ambiente SPRING⁴ os dados devem ser convertidos para o formato matricial, e só então realizar os cruzamentos dos mapas, finalmente tendo as ZMs definidas, mas sem qualquer avaliação a fim de validá-las. Nota-se neste processo como este é um trabalho oneroso e de difícil acesso por um produtor rural, apesar de ser uma possibilidade real para a geração de ZMs.

Outro software proposto para a definição de ZMs é o FuzME (MINASNY; MCBRATNEY, 2002). Este software, desenvolvido na linguagem de programação FORTRAN, não é especializado na execução de tarefas de um protocolo para geração de ZMs, entretanto faz agrupamento de dados multivariados utilizando o algoritmo FCM (fuzzy C-means), disponibilizando os resultados de FPI e MPE das ZMs geradas. Entretanto, as etapas de pré e pós-processamento devem ser realizadas em outros softwares.

Para viabilizar a definição de ZMs em um único software, FRIDGEN et al. (2004) propuseram o Management Zone Analyst (MZA). Este software é gratuito, porém foi desenvolvido com tecnologia proprietária e tem seu código fechado, além de estar em uma versão com poucos recursos, não agregando técnicas mais atuais para a definição de ZMs, haja vista que foi descontinuado (sua última versão foi lançada há mais de 10 anos).

Outro software com objetivo de definição e avaliação de zonas de manejo foi proposto por Bazzi et al. (2013), denominado de SDUM (Software para Definição de Unidades de Manejo). A motivação para seu desenvolvimento foi a necessidade da utilização de um software capaz de determinar e também avaliar zonas de manejo de forma amigável, aproximando esta tecnologia dos pequenos produtores. O SDUM é um software gratuito e atendeu à necessidade de automatizar a geração e a avaliação de ZMs de forma rápida e amigável, estando disponível tanto para a comunidade acadêmica quanto aos produtores interessados. O SDUM foi desenvolvido em linguagem JAVA com o Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) PostgreSQL – e sua extensão Postgis, para trabalhar com dados espaciais, sendo todas as tecnologias envolvidas livres e gratuitas, podendo rodar em qualquer sistema operacional. Tanto a linguagem JAVA quanto o SGBD PostgreSQL têm características de flexibilidade, suporte e escalabilidade, atributos essenciais para o projeto em que o SDUM se insere.

O SDUM realiza todos os procedimentos para definição e avaliação de ZMs, sendo necessária a importação de dados amostrais georreferenciados e a definição do contorno do talhão utilizado. O processo é feito em etapas, nas quais os dados são importados,

² Disponível em: <https://www.r-project.org/>

³ Disponível em: <https://www.arcgis.com>

⁴ Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/index.html>

processados e exportados. Dentre as etapas do protocolo para delineamento de ZMs (SOUZA et al., 2018), o SDUM tem suporte para realizar: normalização dos dados; seleção de variáveis pela análise de correlação espacial; interpolação de dados por Inverso da Distância elevado a uma Potência (IDP), Média Móvel (MM) e Vizinho Mais Próximo (VMP); delinear ZMs pelos métodos de agrupamento FCM e k-means e por métodos empíricos. O SDUM também realiza a avaliação das zonas de manejo por meio da ANOVA e redução da variância (BAZZI, 2011). O SDUM é, portanto, um dos mais completos softwares propostos para a definição de ZMs, mas na proposta original deste software, a arquitetura computacional foi de um software rodando localmente, de forma estática, e dependente diretamente de computadores desktop e instalação específica, prejudicando tanto sua expansão quanto seu uso por produtores com maiores dificuldades e conhecimento em manipulação de equipamentos de informática.

Apesar da boa aceitação do SDUM pelos pesquisadores e produtores, optou-se por migrar para uma plataforma web (AgDataBox – ADB), com a inclusão de novos módulos e funcionalidades, permanecendo livre. A plataforma ADB fornece ferramentas computacionais gratuitas para produtores rurais, pesquisadores e prestadores de serviços focados na AP, através da integração de dados, softwares, procedimentos e metodologias, na tentativa de viabilizar o ramo agrícola no Brasil via tecnologias livres. Exemplos de novos módulos que foram desenvolvidos são: interpolação por krigagem, técnicas de seleção de variáveis, novos métodos de agrupamento de dados para definir ZMs e retificação dos mapas gerados das ZMs (BETZEK et al., 2018; GAVIOLI, 2017; SCHENATTO et al., 2017; FONTANA, 2017; SCHENATTO, 2014).

Ainda no âmbito de softwares para definição de ZMs, outra solução com este objetivo foi proposta por Albornoz et al. (2017). Eles a desenvolveram na linguagem de programação C++ e utilizam o algoritmo Fuzzy c-Means para delinear ZMs. Seus autores o caracterizam como um software de interface amigável, focado em usuários finais, sem a necessidade de conhecimento avançado em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) ou de habilidades estatísticas. O software faz a geração arquivos em formato de shapefile. Na determinação do número ótimo de ZMs, foi utilizada a distância euclidiana dos índices de avaliação de clusters FPI e NCE. O software permite fazer a retificação das ZMs delineadas com o pós-processamento automático, que pode incluir a aplicação de filtros de moda, erosão e dilatação, e a fusão de áreas menores.

Ainda um último software com o propósito de definição de ZMs é o GeoFis, focado em AP e que permite definir ZMs (LEROUX et al., 2018). O software, que é de código aberto e foi desenvolvido em linguagem de programação Java, utiliza o software R como mecanismo para a execução de rotinas, faz a interpolação de dados por IDP e krigagem, e o processo de zoneamento é realizado tendo como base o algoritmo de segmentação proposto por Pedrosa et al. (2010).

Nota-se, nessa linha cronológica, que os softwares com o propósito de definição de

ZMs têm migrado cada vez mais para arquiteturas Web, seguindo a tendência global de desenvolvimento de software, visando alcançar mais usuários, ter escalabilidade e permitir a inserção de recursos de forma independente, tornando-se livres de plataformas específicas (GRAHL et al., 2017). É importante salientar que essa evolução também é necessária para softwares voltados para a AP. Essa arquitetura Web faz parte do que é conhecido como Serviços Web.

3.7 Serviços web

Softwares especialistas modernos estão sendo, em sua grande maioria, desenvolvidos para serem acessíveis via Internet, com os recursos que esse acesso remoto promove, contribuindo na integração com outros softwares ou dados de outras bases, podendo usar ou armazenar dados nestas bases distintas. A fim de mitigar os desafios impostos pela integração destes recursos diferentes, surgiram os Serviços Web – técnicas que permitem a interoperabilidade de softwares em uma rede de computadores, na qual a troca de informações (comunicação) é feita sobre um protocolo de transferência de hipertexto (Hypertext Transfer Protocol – HTTP). Dessa forma, uma Interface de Programação de Aplicações (Application Programming Interface – API) de serviços Web define um padrão para representação das mensagens trocadas, geralmente em JavaScript Object Notation (JSON) ou Extensible Markup Language (XML). Uma vantagem que se destaca com essa metodologia de serviços web é que se torna possível desenvolver sistemas de tempo real, de forma independente e utilizando componentes de software reutilizáveis e fracamente acoplados (GRAHL et al., 2017).

Entre os modelos para serviços web, destaca-se a arquitetura REST (Representational State Transfer). Este modelo de desenvolvimento permite a criação de serviços web com o objetivo de explorar o protocolo HTTP como mecanismo para invocação dos serviços que são disponibilizados por uma API, sendo que as mensagens podem ser trocadas entre as partes definindo-se apenas um formato para tal. O protocolo HTTP é considerado robusto e suficiente para criar estes serviços web (FIELDING, 2000). Desta forma, Fielding (2000) afirma que é possível integrar sistemas heterogêneos, trocar mensagens e informações sem perder a semântica dos dados entre as partes envolvidas, garantindo segurança, integridade e consistência nos dados distribuídos.

O uso de serviços web no âmbito agrícola já ocorre há algum tempo. Spilke e Zürnstein (2005) destacam o potencial da arquitetura de serviços web para a transferência de dados na agricultura, bem como para a integração de aplicativos, incluindo provedores de serviços externos. Nota-se, entretanto, que apenas recentemente o desenvolvimento de software para a agricultura tem optado por fazer uso desta arquitetura. Dois exemplos recentes são: (i) O AgroDSS, software de suporte à decisão que utiliza serviços web baseados

na arquitetura REST, para mineração de dados por meio de uma API REST (RUPNIK et al., 2018); e (ii) O e-Agriculture, desenvolvido para auxiliar agricultores nas diferentes etapas do desenvolvimento de uma cultura (MOHANRAJ; ASHOKUMAR; NAREN, 2016).

O protocolo de serviços web baseados na arquitetura REST, em sua efetiva implementação, faz uso de microserviços – uma espécie de regulamentação desta arquitetura.

3.7.1 Microserviços

Da mesma forma que os sistemas computacionais evoluíram nos últimos anos, desde as arquiteturas de clusters (anos 90), computação em grade (anos 2000), computação em nuvem (últimos 10 anos) e, de forma mais recente, computação ubíqua e Internet das Coisas (IoT), os paradigmas de desenvolvimento de software acompanharam esta evolução, não sendo mais soluções isoladas, passando a trabalhar em plataformas colaborativas, nas quais diferentes entidades de software podem trocar informações (GARCÍA-VALLS; DUBEY; BOTTI, 2018).

Essa evolução muito se deve a dificuldade que aplicações maiores e heterogêneas em termos tecnológicos têm com relação à capacidade de expansão do software a fim de atender novas demandas que diariamente surgem em todos os ramos (SOLDANI; TAMBURRI; VAN DEN HEUVEL, 2018). É neste íterim que surge a arquitetura de microserviços como uma regulamentação para uso do modelo de serviços web.

Em termos comparativos, abordagens tradicionais para o desenvolvimento de software – também chamadas de monolíticas, o tratam como um único e indivisível artefato, independentemente de ser apenas local ou ser disponibilizado via internet. Esta abordagem apresenta algumas desvantagens para os moldes de desenvolvimento e usos colaborativos de software, tais como: (i) O software pode ser difícil de entender e modificar, pois para alterar uma pequena parte, todo o software precisa ser modificado; (ii) O software é de difícil acesso, pois compreende linhas intermináveis de código fonte, diminuindo a produtividade dos desenvolvedores; (iii) A possibilidade de aprimoramento é um desafio, pois cada funcionalidade inserida precisa ser testada e equiparada com todo o resto da aplicação, engessando sua evolução; (iv) Mesmo as pequenas atualizações exigem um grande tempo de entrega; (v) Dificuldades na substituição de membros da equipe, ou ainda de que estes membros trabalhem de forma independentes, entre outras desvantagens (SOMMERVILLE, 2015).

Na área agrícola, é notória a presença tanto de softwares desenvolvidos há mais tempo, quanto alguns mais recentes, que foram desenvolvidos nessa arquitetura monolítica, por exemplo:

- Burlacu et al. (2014) propuseram um sistema de suporte à decisão no âmbito de taxa variável, sensoriamento remoto, GIS e GPS;
- Kruize et al. (2016) desenvolveram uma arquitetura de referência para ecossistemas de software agrícola, com os objetivos de mapear, avaliar e implementar Ecossistemas de Software Agrícola (ESA);
- Mark Online, um software baseado em GIS, proposto por Bligaard (2014);
- Radu et al. (2016) propuseram uma estrutura integrada em nuvem para gerenciamento agrícola, aplicando-a no contexto IoT.

Comparativamente, no outro extremo está a arquitetura de microserviços, a qual visa regulamentar a proposta de serviços web, organizando tanto a forma estrutural quanto a parte lógica um software em pequenos componentes coesos, porém desacoplados. O software todo é visto como um conjunto de pequenos serviços, modulares e independentes, cada qual dedicado a uma única atividade, e no qual cada microserviço pode ter seu banco de dados individual (CIAVOTTA et al., 2017). Uma característica importante dos microserviços é ter suporte tanto a entrega quanto a implantação de forma contínua de aplicativos, proporcionando entregas mais rápidas de partes independentes, mas que formam um único software maior, que é a soma destas partes menores. Dessa forma, o software consegue ter soluções independentes, proporcionando escalabilidade, necessidade básica quando da necessidade de suportar plataformas e dispositivos diferentes (GARCÍA-VALLS; DUBEY; BOTTI, 2018).

Logo, a arquitetura de microserviços permite que um sistema seja distribuído e orientado ao negócio, haja vista que cada microserviço contém a implementação de uma parte daquele negócio, dando ao software um maior valor agregado. A abordagem de microserviços tem despertado o interesse de pesquisadores e desenvolvedores de software para criar soluções nos mais diferentes ramos de atividade, pois os relatos deste modelo de desenvolvimento inferem que este proporciona agilidade e escalabilidade para adicionar recursos, além de permitir a interoperabilidade entre serviços parceiros. Entretanto, não foram encontrados relatos de trabalhos utilizando arquitetura de microserviços para o desenvolvimento de softwares focados em AP.

3.8 Eletrônica embarcada em máquinas agrícolas

O conjunto de sistemas eletrônicos composto por processadores (hardware) e programas dedicados (software ou firmware) para aquisição, processamento, armazenamento e comunicação de dados é chamado de eletrônica embarcada. O incremento acentuado de tais sistemas eletrônicos por meio do desenvolvimento de monitores e controladores para máquinas e implementos agrícolas é cada vez mais notório, visando levar para uso em campo aquelas tecnologias produzidas em laboratório (AGRICULTURAL

INDUSTRY ELECTRONICS FOUNDATION, 2018).

Dispositivos embarcados produzidos especificamente para máquinas agrícolas têm sido fundamentais para inserção ou manutenção de competitividade comercial, principalmente em países em que uma larga fatia da economia depende do agronegócio (FAO, 2009). Tais inovações, a partir de pesquisas científicas, são fundamentais para o sucesso das atividades agrícolas, sendo capazes de auxiliar o produtor rural no aumento da eficiência, monitoramento, produtividade e rentabilidade destas atividades (CARVALHO et al., 2009).

Entre as tecnologias utilizadas diretamente na automação de máquinas e implementos agrícolas destacam-se os sensores que permitem aferir variáveis agronômicas em campo através de sensoriamento local ou remoto; sistemas de aplicação de insumos em taxa variável e sistemas que realizam sensoriamento, processamento (tomada de decisão) e atuação durante o movimento da máquina (PEETS et al., 2012).

É neste íterim que softwares desenvolvidos para dispositivos eletrônicos embarcados em máquinas agrícolas se fundem, embasando a definição de AD, principalmente quando estas tecnologias são aplicadas no âmbito da AP, quando se recorre aos conhecimentos de redes inteligentes e ferramentas de gerenciamento de dados, a fim de utilizar todas as informações e conhecimentos disponíveis, permitindo a automação de processos sustentáveis na agricultura, incidindo em uma maior produtividade. A constante evolução nestas duas áreas e sua aplicação no setor agrícola tem sido notória nos últimos anos, alavacada pelo aumento e pela disponibilidade de sensores, atuadores e microprocessadores, redes de comunicação aprimoradas, comunicação em nuvem e BigData. Dessa forma, o fluxo de informações não se restringe mais a equipamentos agrícolas proprietários e de difícil acesso, podendo ser aplicados a novos serviços oferecidos, que baseiam-se em algoritmos que transformam dados em informações, suportados por dispositivos eletrônicos projetados para lhes darem o devido suporte (CEMA, 2017).

Importantes pesquisas em tecnologias para a agricultura têm sido desenvolvidas com a utilização da eletrônica embarcada. Nos últimos anos, trabalhos de pesquisa propostos por Bakker et al. (2011), Cheein et al. (2011), Dong et al. (2011) e Griepentrog et al. (2013) propuseram soluções para o desenvolvimento de sistemas inteligentes de automação e de sistemas robóticos que possibilitam operações mais precisas para reduzir custos, aumentar a produtividade e minimizar o impacto ambiental em operações agrícolas.

4. REFERÊNCIAS

AGRICULTURAL INDUSTRY ELETRONICS FOUNDATION. Electronics are the key. 2018. Disponível em: <http://www.aef-online.org/>. Acesso em 11 nov. 2018.

ALBORNOZ, E. M.; KEMERER, A. C.; GALARZA, R.; MASTAGLIA, N.; MELCHIORI, R.; MARTÍNEZ, C. E. Development and evaluation of an automatic software for management zone delineation. **Precision Agriculture**, v. 19, n. 3, p. 463-476, 2018.

ARAÚJO, G. K. D.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, A. M. Mapping of summer crops in the State of Paraná, Brazil, through the 10-day spot vegetation NDVI composites. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p. 760-770, 2011.

ASSUMPTÃO, R. A. B.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G. de; JOHANN, J. A. Uso da krigagem indicatriz na avaliação da probabilidade da produtividade de soja segundo os padrões regional, estadual e nacional. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 2, p. 165-171, 2007.

BAKKER, T.; ASSELT, K. van; BONTSEMA, J.; MULLER, J.; STRATEN, G. Autonomous navigation using a robot platform in a sugar beet field. **Biosystems Engineering**, London, v. 109, n. 4, p. 357-368, 2011.

BAZZI, C. L. **Software para definição e avaliação de unidades de manejo em agricultura de precisão**. 2011. 123f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, 2011.

BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; NÓBREGA, L. H. P.; ROCHA, D. M. Management zones definition using soil chemical and physical attributes in a soybean area. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 5, p. 952-964, 2013.

BETZEK, N. M.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; SCHENATTO, K.; GAVIOLI, A. Rectification methods for optimization of management zones. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 146, n. 1, p. 1-11, 2018.

BEUTLER, A. N.; MUNARETO, J. D.; RAMÃO, C. J.; GALON, L.; DIAS, N. P.; POZZEBON, B. C. Propriedades físicas do solo e produtividade de arroz irrigado em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1601-1607, 2012.

BLIGAARD, J. Mark Online, a FullScale GIS-based Danish Farm Management Information System. **International Journal on Food System Dynamics**, v. 5, n. 4, p.190-195, 2014.

BRONSON, K. Digitization and Big Data in Food Security and Sustainability. **Reference Module in Food Science**. Elsevier, 2018. 8 p. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965224621#bib1>>. Acesso em 22 set. 2018.

BURAK, D. L.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob cafeeiro Conilon: relação com textura, matéria orgânica e relevo. **Bragantia**, Campinas, v. 71, p. 538-547, 2012.

BURLACU, G.; COSTA, R.; SARRAIPA, J.; JARDIM-GOLCALVES, R.; POPESCU, D. A Conceptual Model of Farm Management Information System for Decision Support. In: CAMARINHA-MATOS, L. M.; BARRENTO, N. S.; MENDONÇA, R. (Eds.) DoCEIS: Technological Innovation for Collective Awareness Systems, 2014. **IFIP Advances in**

Information and Communication Technology, v. 423. Berlin, Heidelberg: Springer, 2014. p 47-54.

CARMO, D. L.; NANNETTI, D. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; ESPÍRITO SANTO, D. J.; NANNETTI, A. N.; LACERDA, T. M. Propriedades físicas de um latossolo vermelho amarelo cultivado com cafeeiro em três sistemas de manejo no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 991-998, 2011.

CARVALHO, G. R.; BOTELHO, C. E.; BARTHOLO, G. F.; PEREIRA, A. A.; NOGUEIRA, Â. M.; CARVALHO, A. M. de. Comportamento de progênies F4 obtidas por cruzamentos de 'Icatu' com 'Catimor'. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 47-52, 2009.

CARVALHO, P. S. M.; FRANCO, L. B.; SILVA, S. A.; SODRÉ, G. A.; QUEIROZ, D. M.; LIMA, J. S. S. Cacao Crop Management Zones Determination Based on Soil Properties and Crop Yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, p. 1-17, 2016.

CEMA – European Agricultural Machinery. **Digital farming**: what does it really mean? Brussels: CEMA, 2017. 9p.

CHEEIN, A. F.; STEINER, G.; PAINA, G. P.; CARELLI, R. Optimized EIF-SLAM algorithm for precision agriculture mapping based on systems detection. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 78, n. 2, p. 195-207, 2011.

CIAVOTTA, M.; ALGE, M.; MENATO, S.; ROVERE, D.; PEDRAZZOLI, P. A Microservice-Based Middleware for the Digital Factory. **Procedia Manufacturing**, v. 11, n. 1, p. 931-938, 2017.

CID-GARCIA, N. M.; BRAVO-LOZANO, A. G.; RIOS-SOLIS, Y. A. A crop planning and realtime irrigation method based on site-specific management zones and linear programming. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 107, p. 20-28, 2014.

COELHO, E. C.; SOUZA, E.G. de; URIBE-OPAZO, M. A.; PINHEIRO NETO, R. Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temáticos. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 165-174, 2009.

COHEN J.A. Coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Psychological Measurement**, California, v. 20, n. 1, p. 37-46, 1960.

COLAÇO, A. F.; POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; ROMANELLI, T. L. Energy assessment for variable rate nitrogen application. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, v. 14, n. 3, p. 85-90, 2012.

COLEZEA, M.; MUSAT, G.; POP, F.; NEGRU, C.; DUMITRASCU, A.; MOCANU, M. CLUeFARM: Integrated web-service platform for smart farms. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 154, n. 1, p. 134-154, 2018.

CONAB. Boletim de Acompanhamento da Safra Brasileira. Monitoramento agrícola – Safra 2017/18. v. 5, n. 10, p. 15-19, 2018. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em 10 set. 2018.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. A practical look at sources of confusion in error matrix generation. **Photogrammetric Engineering And Remote Sensing**, v. 59, n. 5, p. 641-644, 1993.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 1013-1021, 2004.

DALBIANCO, L. **Variabilidade espacial e estimativa da condutividade hidráulica e caracterização físico-hídrica de uma microbacia rural**. 2009. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) - UFSM, Santa Maria, 2009.

DOBERMANN, A.; PING, J. L.; ADAMCHUK, V. I.; SIMBAHAN, G. C.; FERGUSON, R. B. Classification of crop yield variability in irrigated production fields. **Agronomy Journal**, Madison, v. 95, n. 1, p. 1105-1120, 2003.

DOERGE, T. A. Management Zone Concepts. Site-Specific Management Guidelines. Norcross: Potash & Phosphate Institute, 2000.

DONG, F.; HEINEMANN, W.; KASPER, R. Development of a row guidance system for an autonomous robot for white asparagus harvesting. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 79, n. 2, p. 216-225, 2011.

FAO. **How to feed the world in 2050**. Rome, 2009. Disponível em: <http://www.fao.org/wsfs/forum2050/wsfsbackground-documents/issues-briefs/en/>. Acesso em 10 ago. 2018.

FERRAZ, G. A. E. S.; SILVA, F. M.; CARVALHO, F. M.; COSTA, P. A. N.; CARVALHO, L. C. C. Viabilidade econômica do sistema de adubação diferenciado comparado ao sistema de adubação convencional em lavoura cafeeira: um estudo de caso. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 5, 2012.

FIELDING, R. T. **Architectural Styles and the Design of Network-Based Software Architectures**. 2000. 162 f. Tese (Doutorado) - Curso de Computer Science, Departamento de Computer Science, University of California, Irvine, 2000.

FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR).; 2007, Florianópolis. **Anais [...]** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 5755-5762.

FLEMING, K. L.; HEERMANN, D. F.; WESTFALL, D. G. Evaluating Soil Color with Farmer Input and Apparent Soil Electrical Conductivity for Management Zone Delineation. **Agronomy Journal**, v. 96, p. 1581-1587, 2004.

FONTANA, F. S. **Definição de zonas de manejo utilizando algoritmo de agrupamento Fuzzy C-Means com variadas métricas de distâncias**. 2017. 71f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

FRAISSE, C. W.; SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R. Delineation of site-specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity. **International Journal of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 44, n. 1, p. 155-166, 2001.

FRIDGEN, J. J.; KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T.; WIEBOLD, W. J.; FRAISSE, C. W. Management zone analyst (MZA): software for subfield management zone delineation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 100-108, 2004.

GARCÍA-VALLS, M.; DUBEY, A.; BOTTI, V. Introducing the new paradigm of Social Dispersed Computing: Applications, Technologies and Challenges. **Journal of Systems Architecture**, p. 1-63, 2018.

GAVIOLI, A. **Módulos computacionais para seleção de variáveis e análise de agrupamento para definição de zonas de manejo**. 2017. 122f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

GONTIJO, I.; NICOLE, L. R.; PARTELLI, F. L.; BONOMO, R.; SANTOS, E. O. de J. Variabilidade e correlação espacial de micronutrientes e matéria orgânica do solo com a produtividade da pimenta-do-reino. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 1093-1102, 2012.

GRAHL, M.; BLUHM, T.; GRÜN, M.; HENNIG, C.; HOLTZ, A.; KROM, J.G.; KÜHNER, G.; LAQUA, H.; LEWERENTZ, M.; RIEMANN, H.; SPRING, A.; WERNER, A. Archive WEB API: a web service for the experiment data archive of Wendelstein 7-X. **Fusion Engineering and Design**, v. 123, n. 1, p. 1015-1019, 2017.

GRIEPENTROG, H. W.; DÜHRING, J. C. L.; PARAFOROS, D. S. Robots for field operations with comprehensive multilayer control. **KI – Künstliche Intelligenz**, Heidelberg, v. 27, n. 4, p. 325-333, 2013.

GUEDES, E. M. S.; FERNANDES, A. R.; LIMA, H. V.; SERRA, A. P.; COSTA, J. R.; GUEDES, R. S. Impacts of different management systems on the physical quality of an Amazonian Oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1269-1278, 2012.

JOHANN, J. A.; OPAZO, M. A. U.; SOUZA, E. G.; ROCHA, J. V. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno distrófico da região de Cascavel, PR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 2, p. 212-219, 2004.

KHOSLA, R.; INMAN, D.G.; WESTFALL, R.; RIECH, W. M.; FRASIER, M.; MZUKU, B. A synthesis of multi-disciplinary research in precision agriculture: Site-specific management zones in the semi-arid Western Great Plains of the USA. **Precision Agriculture**, n. 9, n. 2, p. 85-100, 2008.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C. D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. **Ciência Rural**, v. 40, n. 7, p. 1550-1556, 2010.

KRUIZE, J. W.; WOLFERT, J.; SCHOLTEN, H.; VERDOUW, C. N.; KASSAHUN, A.; BEULENS, A. J. A reference architecture for Farm Software Ecosystems. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 125, n. 1, p. 12-28, 2016.

LARSCHEID, G.; BLACKMORE, B. S. Interactions between farm managers and information systems with respect to yield mapping. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3.; 1996, Minneapolis. **Anais** [...] Minneapolis: American Society of Agronomy, 1996, p. 1153-1163.

LEROUX, C.; JONES, H.; PICHON, L.; GUILLAUME, S.; LAMOUR, J.; TAYLOR, J.; NAUD, O.; CRESTEY, T.; LABLEE, J.; TISSEYRE, B. Geofis: an open source, decision-support tool for precision agriculture data. **Agriculture**, v. 8, n. 6, p. 14-21, 2018.

LI, Y.; SHI, Z.; LI, F.; LI, H. Y. Delineation of site-specific management zones using fuzzy clustering analysis in a coastal saline land. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 56, n. 2, p. 174-186, 2007.

LIMA, A. F. **Desenvolvimento de métodos para o preparo de amostras de fertilizantes visando à determinação de cobre, cádmio e chumbo por espectrometria de absorção atômica com chama**. 2010. 66f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

MILNE, A. E.; WEBSTER, R.; GINSBURG, D.; KINDRED, D. Spatial multivariate classification of an arable field into compact management zones based on past crop yields. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 80, p. 17-30, 2012.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. **FuzME version 3**. Australian Centre for Precision Agriculture, The University of Sydney, 2002. Disponível em <http://sydney.edu.au/agriculture/acpa/software/fuzme.shtml>. Acesso em 24 jun. 2018.

MOHANRAJ, I.; ASHOKUMAR, K.; NAREN, J. Field Monitoring and Automation using IOT in Agriculture Domain. **Procedia Computer Science**, v. 93, n. 1, p. 931-939, 2016.

MOLIN, J. P.; FAULIN, G. C. Spatial and temporal variability of soil electrical conductivity related to soil moisture. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 1, p. 1-5, 2013.

MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 90-101, 2011.

MONDO, H. V. V.; GOMES JUNIOR, F. G.; PINTO, T. L. F.; MARCHI, J. L.; MOTOMIYA A. V. A.; MOLIN, J. P.; CICERO, S. M. Spatial variability of soil fertility and its relationship with seed physiological potential in a soybean production area. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 2, p. 193-201, 2012.

MORAL, F. J.; TERRÓN, J. M.; REBOLLO, F. J. Site-specific management zones based on the Rasch model and geostatistical techniques. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 75, p. 223-230, 2011.

MORAL, F. J.; TERRÓN, J. M.; SILVA, J. R. M. Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. **Soil and Tillage Research**, v. 106, n. 2, p. 335-343, 2010.

MURAKAMI, E.; SARAIVA, A. M.; RIBEIRO JUNIOR, L. C. M.; CUGNASCA, C. E.; HIRAKAWA, A. R.; CORREA, P. L. P. An infrastructure for the development of distributed service-oriented information systems for Precision Agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 58, p. 37-48, 2007.

MUSAT, G.-A.; COLEZEA, M.; POP, F.; NEGRU C.; MOCANU, M.; ESPOSITO, C.; CASTIGLIONE, A. Advanced services for efficient management of smart farms. **Journal of Parallel and Distributed Computing**, v. 116, p. 3-17, 2017.

NESI, C. N.; RIBEIRO, A.; BONAT, W. H.; RIBEIRO JR, P. J. Verossimilhança na seleção de modelos para predição espacial. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 352-358, 2013.

NIKKILA, R.; SEILONEN, I.; KOSKINEN, K. Software architecture for farm management information systems in precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 70, p. 328-336, 2010.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C. de; SOUZA, L. C. P.; MELO, V. F. Variabilidade de atributos físicos e químicos de solos da formação guabirota em diferentes unidades de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1491-1502, 2010.

PEDROSO, M.; TAYLOR, J.; TISSEYRE, B.; CHARNOMORDIC, B.; GUILLAUME, S. A segmentation algorithm for the delineation of management zones. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 70, n. 1, p. 199-208, 2010.

PEETS, S.; MOUAZEN, A. M.; BLACKBURN, K.; KUANG, B.; WIEBENSOHN, J. Methods and procedures for automatic collection and management of data acquired from on-the-go sensors with application to on-the-go soil sensors. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 81, n. 1, p. 104-112, 2012.

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de Software**: uma abordagem profissional. 8 ed. São Paulo: Amgh, 2016. 968 p.

RADU, C.; APOSTOL, E.; LEORDEANU, C.; MOCANU, M. Integrated Cloud Framework for Farm Management. In: 10th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS). **Proceedings** [...] Fukuoka, 2016, p. 302-307.

RODRIGUES JUNIOR, F. A.; VIEIRA, L. B.; QUEIROZ, D. M. de.; SANTOS, N. T. Geração de zonas de manejo para cafeicultura empregando-se sensor SPAD e análise foliar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 15, n. 8, p. 778-787, 2011.

RUPNIK, R.; KUKAR, M.; VRAČAR, P.; KOŠIR, D.; PEVEC, D.; BOSNIĆ, Z. AgroDSS: a decision support system for agriculture and farming. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, in press, p. 1-12, 2018.

SALEH, A.; BELAL, A. A. Delineation of site-specific management zones by fuzzy clustering of soil and topographic attributes: a case study of East Nile Delta, Egypt. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, **Anais** [...], v. 18, 2014.

SANO, E. E.; SANTOS, E. M.; MENESES, P. R. Análise de imagens do satélite alôrs pãrsar para o mapeamento de uso e cobertura da terra do distrito federal. **Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 441-451, 2009

SCHENATTO, K. Utilização de métodos de interpolação e agrupamento para definição de unidades de manejo em agricultura de precisão. 101f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014.

SCHENATTO, K.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; GAVIOLI, A.; BETZEK, N. M.; BENEDUZZI, H. B. Normalization of data for delineating management zones. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 143, n. 1, p. 238-248, 2017.

SHEN, S.; BASIST, A.; HOWARD, A. Structure of a Digital Agriculture System and Agricultural Risks Due to Climate Changes. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 1, n. 1, p. 42-51, 2010.

SILVA JÚNIOR, J. F.; SIQUEIRA, D. S.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Classificação numérica e modelo digital de elevação na caracterização espacial de atributos dos solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 4, p. 415-424, 2012.

SILVA NETO, S. P. **A evolução da produtividade da soja no Brasil**. Planaltina, 2011. Disponível em: <http://cpac.embrapa.br/noticias/artigosmidia/publicados/335/>. Acesso em 18 ago. 2018.

SOLDANI, J.; TAMBURRI, D. A.; VAN DEN HEUVEL, W.-J. The pains and gains of microservices: a Systematic grey literature review. **Journal of Systems and Software**, v. 146, n. 1, p. 215-232, 2018.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**. 10 ed. São Paulo: Pearson, 2015. 816 p.

SORENSEN, C. G.; FOUNTAS, S.; NASH, E.; PESONEN, L.; BOCHTIS, D.; PEDERSEN, S. M.; BASSO, B.; BLACKMORE, S. B. Conceptual model of a future farm management information system. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 72, p. 37-47, 2010.

SOUZA, E. G.; SCHENATTO, K.; BAZZI, C. L. Creating thematic maps and management zones for agriculture fields. In: International Conference on Precision Agriculture, 14. ed.; 2018, Montreal. **Anais [...]** Montreal: ICPA Press, 2018. 1 CD-ROM.

SOUZA, Z. M. de; GUILHERME, D.; CERRI, P.; HENRIQUE, L.; RODRIGUES, A. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 840-847, 2010.

SPIKKE, J.; ZÜRNSTEIN, K. Webservices - Beschreibung eines Ansatzes zur Anwendungskopplung und von Nutzungsmöglichkeiten im Agrarbereich (Web services - description of an approach for application integration and of possibilities for usage in the agricultural sector). **Zeitschrift für Agrar-informatik**, v. 13, n. 2, p. 33-40, 2005.

SUSZEK, G.; SOUZA, E. G. de; URIBE-OPAZO, M. A.; NOBREGA, L. H. P. Determination of management zones from normalized and standardized equivalent productivity maps in the soybean culture. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 5, p. 895-905, 2011.

SWINDELL, J. Mapping the spatial variability in the yield potential of arable land through GIS analysis of sequential yield maps. In: European Conference on Precision Agriculture, 1., 1997, Warwick. **Precision agriculture '97: papers presented at the first European Conference on Precision Agriculture**. Oxford: BIOS Scientific Pub., 1997. p. 827-834.

TAGARAKIS, A.; LIAKOS, V.; FOUNTAS, S.; KOUNDOURAS, S.; GEMTOS, T.A. Management zones delineation using fuzzy clustering techniques in grapevines. **Precision Agriculture**, p. 18-39, 2013.

WANG, Y. Q.; SHAO, M. A. Spatial variability of soil physical properties in a region of the loess plateau of PR China subject to wind and water erosion. **Land Degradation & Development**, v. 24, p. 296-304, 2013.

WOLFERT, S.; GE, L.; VERDOUW, C.; BOGAARDT, M. Big data in smart farming: a review. **Agricultural Systems**, v. 153, n. 1, p. 69-80, 2017.

XIN-ZHONG, W.; GUO-SHUN, L.; HONG-CHAO, H.; ZHEN-HAI, W.; QING-HUA, L.; XU-FENG, L.; WI-HONG, H.; YAN-TAO, L. Determination of management zones for a tobacco field based on soil fertility. **Computers and electronics in agriculture**, Amsterdam, v. 65, p. 168-175, 2009.

XU, R.; WUNSCH, D. C. **Clustering**. Piscataway: IEEE Press, 2009. 358 p.

YAN, L.; ZHOU, S.; FENG, L.; HONG-YI, L. Delineation of site-specific management zones using fuzzy clustering analysis in a coastal saline land. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 56, p.174-186, 2007.

5. ARTIGO 1 – ADB-API-TRACKER E ADB-TRACKER: UMA SOLUÇÃO EM SOFTWARE E HARDWARE PARA ORIENTAÇÃO DE OPERAÇÕES AGRÍCOLAS EM ZONAS DE MANEJO

Resumo. O crescimento do agronegócio é, em grande parte, consequência dos investimentos realizados visando aumentar a eficiência produtiva e reduzir os custos de produção. Nestes investimentos estão inseridos os sistemas computacionais e os dispositivos de eletrônica embarcada utilizados na gerência da produção agrícola, tanto por agricultores como pela comunidade científica. Esta evolução tecnológica propicia uma tomada de decisão mais rápida e precisa, principalmente no contexto da Agricultura de Precisão e da Agricultura Digital, que podem ser viabilizadas para pequenos produtores pela divisão de áreas agrícolas produtivas em zonas de manejo (ZMs), barateando sua implantação. Entretanto, softwares e hardwares utilizados neste segmento geralmente são proprietários e dependentes de tecnologias específicas, o que pode inviabilizar seu uso por pequenos produtores. Assim, na tentativa de mitigar o processo de delineamento e avaliação de ZMs, foi proposto o software SDUM (Software para Definição de Unidades de Manejo), que é gratuito, amigável, multiplataforma, e implementa interpoladores matemáticos para geração dos mapas temáticos. Este software, alavancado pelas necessidades que a Agricultura Digital tem exigido, evoluiu para uma plataforma digital para uso na Agricultura de Precisão, denominada de AgDataBox (ADB). Neste contexto, este projeto visa o desenvolvimento de um sistema composto de software e hardware implementados na mesma arquitetura e demais diretivas da plataforma ADB, para realizar a interpretação dos shapefiles das ZMs geradas pelas rotinas com essa função no ADB, ou ainda de outro software de Agricultura de Precisão, a fim de orientar o produtor quanto à navegação em campo durante a operação agrícola. Esta navegação é realizada pelo software ADB-Tracker diretamente por um smartphone ou ainda com o uso de um hardware próprio, que serve como plataforma para execução dos softwares desenvolvidos, projetado com componentes de hardware livres, para fornecer total domínio sobre este, fácil manutenção, escalabilidade, baixo custo e portabilidade. Os dados das operações são persistidos localmente e também na ADB-API-Tracker, a qual implementa rotinas e gera relatórios referentes às operações agrícolas realizadas nas ZMs com suporte do ADB-Tracker.

Palavras-chave: Agricultura de precisão, agricultura digital, unidades de manejo, serviços web.

ADB-API-TRACKER AND ADB-TRACKER: A SOFTWARE AND HARDWARE SOLUTION FOR ORIENTATION OF OPERATIONS IN MANAGEMENT ZONES

Abstract. The growth of agribusiness is a consequence of investments made to increase production efficiency and reduce production costs. These investments include computer systems and embedded electronic devices used in the management of agricultural production, both by farmers and the scientific community. This technological evolution leads to faster and more precise decision making, especially in the context of Precision Agriculture and Digital Agriculture, which can be made feasible for small producers by dividing productive agricultural areas into management zones, making their implementation cheaper. However, software and hardware used in this segment are usually proprietary and dependent on specific technology, which may make it unfeasible for small producers. Thus, in an attempt to mitigate the process of definition and evaluation of management zones, SDUM software was proposed, which is free, friendly, multiplatform, and implements mathematical interpolators to generate thematic maps. This software, leveraged by the needs that Digital Agriculture has demanded, has evolved into a digital platform for use in Precision Agriculture, called AgDataBox. In this context, this project aimed to develop a system composed of software and hardware implemented in the same architecture and other directives of the AgDataBox platform, to perform the interpretation of the files of the management zones generated by the routines with this function in the AgDataBox, or another Precision Agriculture software to guide the farmer in the field during an agricultural operation. This navigation is carried out by the ADB-Tracker

software directly by a smartphone or using its own hardware, which serves as a platform for running the software developed, designed with free hardware components, to provide total control over it, easy maintenance, scalability, low cost, and portability. The data of the operations is persisted locally and also in the ADB-API-Tracker, which implements routines and generates reports regarding the agricultural operations carried out in the management zones with ADB-Tracker support.

Keywords: Precision agriculture, digital agriculture, management zones, web services.

5.1 Introdução

A agricultura de precisão (AP) surgiu nos EUA nos anos finais do século XX, propondo ser um sistema de gerenciamento da variabilidade espacial e temporal da produção agrícola (MONDO et al., 2012; REZA et al., 2010). O objetivo da AP é aumentar a produtividade por meio da correção dos nutrientes do solo, tratando de forma localizada cada atributo que exerce influência sobre a produção (HEDLEY, 2015). Esse objetivo é alcançado por meio de sistemas que racionalizam o uso de insumos ao aplicá-los em quantidades certas e em locais deficitários, decorrendo disso certa economia, diminuição do impacto ambiental, maior eficiência do processo de cultivo e maior produtividade, tornando, dessa forma, a AP um processo de gestão da produção agrícola (COLAÇO et al., 2012; MOLIN; RABELO, 2011).

Para que seja possível a implantação da AP em uma área agrícola, é preciso que se tenha real conhecimento desta área. Para isso, se torna fundamental o uso da Tecnologia da Informação (TI), que quando utilizada de forma adequada na coleta e na apresentação de dados agrícolas, auxilia na melhora da tomada de decisão na direção de produzir mais em uma mesma área, bem como realizar o correto gerenciamento dos recursos naturais. Neste contexto, destaca-se o desenvolvimento de softwares e dispositivos especialistas a fim de corroborar com o desenvolvimento da AP (EL-SHARKAWY et al., 2016), endossando o conceito de Agricultura Digital (AD) (SHEN; BASIST; HOWARD, 2010). A AD é composta pela AP somada à automação (via software e hardware) e ao gerenciamento de BigData (grande volume de dados coletados), principais artefatos digitais responsáveis pelas transformações tecnológicas na agricultura nos últimos anos (BRONSON, 2018).

Grande volume de dados vem sendo coletado em campo a partir de satélites, drones equipados com câmeras multiespectrais, redes de sensores sem fio, aplicativos de smartphones, dentre outras maneiras. Estes dados são armazenados em bancos de dados de computadores e, posteriormente, analisados por algoritmos especializados na extração de informações, tornando a AD uma abordagem aplicável a diversos níveis práticos. As coletas de dados podem ser também realizadas diretamente pelos equipamentos agrícolas instrumentados com sensores e com sistema de posicionamento global para identificação do posicionamento geográfico daquele dado adquirido (BRONSON, 2018). Com os dados coletados, a tomada de decisão é assessorada por algoritmos computacionais, gerando

informações para o correto uso de equipamentos agrícolas de precisão (WOLFERT et al., 2017).

A AP, juntamente com a AD, têm evoluído a passos largos, tanto no âmbito acadêmico quanto industrial, mas têm ainda como desafio seus altos custos, dificultando o acesso principalmente dos pequenos produtores (KHOSLA et al., 2008). Uma solução que visa mitigar estes custos é o delineamento de Zonas de Manejo (ZMs).

Conforme relatam Chang et al. (2014), cada ZM é uma subárea com um conjunto de características similares, geralmente limitantes da produtividade, para a qual é possível adotar a aplicação a taxa fixa de insumos agrícolas, tratando-a como uma área homogênea sob o ponto de vista de amostragem e gerenciamento. Em comparação com a agricultura convencional, a utilização dessas subáreas possibilita reduzir a variabilidade espacial da produtividade das culturas e os danos ao meio ambiente provocados pela aplicação excessiva de determinados insumos. Em outras palavras, ZMs são sub-regiões dentro de um talhão que tenham topografia e condições do solo espacialmente homogêneas (MORAL; TERRÓN; REBOLLO, 2011; XIN-ZHONG et al., 2009) e que podem ser utilizadas também para direcionar o processo de amostragem do solo, reduzindo o número de análises necessárias na geração dos mapas temáticos utilizados na aplicação de insumos, além da variação de determinadas operações de manejo (YAN et al., 2007). Esta característica permite a utilização dos equipamentos já utilizados na agricultura convencional, agregando os mesmos benefícios da AP sem obrigatoriamente realizar grandes investimentos, haja vista que a heterogeneidade só é considerada existente entre ZMs diferentes, o que colabora na minimização dos custos para a gestão das culturas (CID-GARCIA; BRAVO-LOZANO; ROIS-SOLIS, 2014; XIN-ZHONG et al., 2009).

O delineamento de ZMs pode ocorrer por meio de inúmeras técnicas, geralmente distribuídas em duas grandes categorias: métodos empíricos ou métodos de análise de agrupamento (YAN et al., 2007). Independentemente do método de delineamento, as ZMs devem ser avaliadas a fim de verificar se cada ZM pode ser tratada de forma homogênea internamente, mas de forma diferenciada do restante do talhão, e ser utilizada como fonte de recomendação e de análise para atributos do solo (SALEH; BELAL, 2014; MORAL; TERRÓN; SILVA, 2010).

Neste processo, desde a coleta e o armazenamento de dados, bem como o seu tratamento e transformação em informações úteis, como por exemplo o delineamento de ZMs, a tendência é o uso de portais de dados associados a plataformas de trabalho. Estes portais fornecem a qualquer plataforma a eles conectada a visualização de seus dados sem a necessidade de inseri-los manualmente. Tais portais também propiciam a transformação dos dados brutos em novas e mais relevantes informações a serem visualizadas pelas diversas plataformas a eles conectadas, ponto chave da evolução da chamada Agricultura 3.0 (caracterizada pelo uso da AP) para a Agricultura 4.0 (implantação de fato da AD). Tanto a

indústria quanto a academia precisam, portanto, estar atentos a esta linha de evolução tecnológica, e passar a disponibilizar portais e plataformas web gratuitas de integração de dados, por meio de microserviços, softwares, procedimentos e metodologias para o efetivo uso da AP, principalmente visando os pequenos produtores.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi apresentar uma solução (ADB-API-Tracker) no formato de Interface de Programação de Aplicações (API – Application Programming Interface), que armazena shapefiles de ZMs e demais dados associados a estas, bem como uma plataforma no formato de software aplicativo para smartphones Android, chamado ADB-Tracker, que consome e persiste dados na ADB-API-Tracker, possibilitando uma navegação do operador em tempo real pelas ZMs durante uma operação agrícola. Este trabalho também apresenta uma solução em hardware projetado com componentes livres e de baixo custo, capaz de executar o software ADB-Tracker 2 – uma versão adaptada do software ADB-Tracker específica para ser executada neste hardware, otimizando, assim, a leitura de dados em sensores com maior precisão, além de tornar o software ADB-Tracker independente de fabricantes tanto de smartphones quanto de versões de sistemas operacionais proprietários presentes nestes respectivos smartphones.

5.2 Referencial teórico

5.2.1 Delineamento de ZMs

No delineamento de ZMs usualmente são utilizadas como variáveis as propriedades do solo (CARVALHO et al., 2016), condutividade elétrica aparente do solo (CASTRIGNANÒ et al., 2018; MARTÍNEZ-CASASNOVAS; ESCOLÀ; ARNÓ, 2018), experiência do agricultor (MARTÍNEZ-CASASNOVAS; ESCOLÀ; ARNÓ, 2018; SCHENATTO et al., 2017b), produtividade da cultura (BLACKMORE, 2000), atributos topográficos e condutividade elétrica do solo (PERALTA et al. 2015; FRAISSE; SUDDUTH; KITCHEN, 2001), imagens de satélite (ZHANG et al., 2010), bem como a combinação destas variáveis (SCHEPERS et al., 2004). Para que o processo de delineamento de ZMs seja adequado, determinados protocolos foram propostos (SANTOS; SARAIVA, 2015; CÓRDOBA et al., 2016). Dentre eles, um dos protocolos mais completos para delineamento de ZMs foi proposto por Souza et al. (2018a), no qual o processo para delinear ZMs segue as fases de: (i) processamento de dados; (ii) normalização dos dados; (iii) seleção de variáveis para delineamento das ZMs; (iv) interpolação dos dados; (v) aplicação de métodos para delineamento de ZMs; (vi) retificação das ZMs; e (vii) avaliação das ZMs. A Figura 1 ilustra estas fases, bem como expõe alguns dos métodos que podem ser utilizados em cada uma.

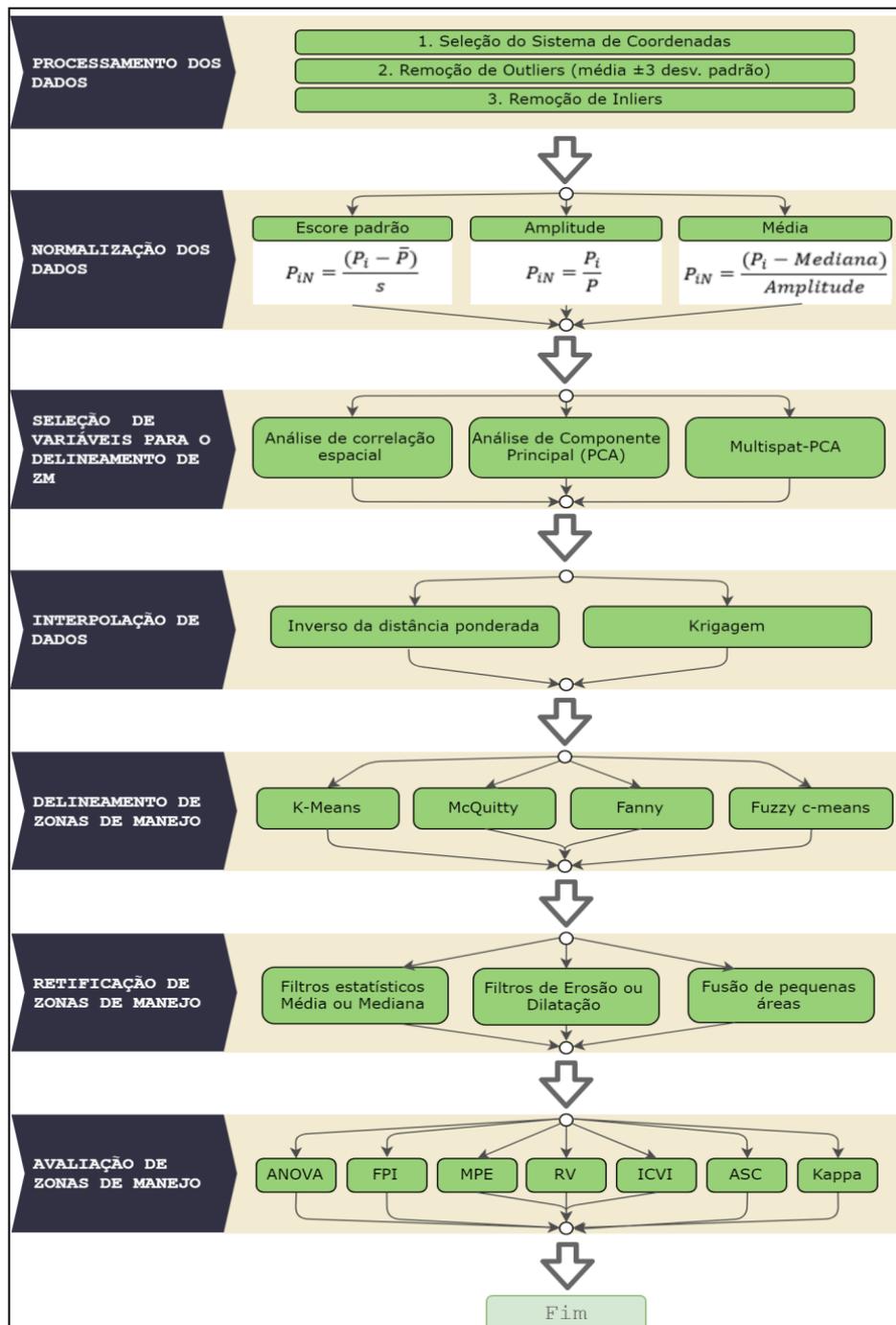


Figura 1 Fluxograma do protocolo de Souza et al. (2018a) para delinear ZMs.
Fonte: Adaptado de Souza et al. (2018a).

Há diversas propostas de softwares para delimitação de ZMs, entre os quais: FuzME (MINASNY; MCBRATNEY, 2002); o MZA (FRIDGEN et al., 2004); ZoneMAP (ZHANG et al., 2010); o EZZone (LOWRANCE et al., 2016), um software proposto por Albornoz et al. (2017); e o GeoFis (LEROUX et al., 2018). Entretanto, nenhum deles implementa todas as fases do processo de delimitação.

Entre estes softwares propostos, o que adere de modo mais completo é o SDUM (BAZZI et al., 2013), desenvolvido na linguagem de programação Java, com uso do banco de dados PostgreSQL com a extensão Postgis para trabalhar com tipos de dados espaciais. Ele

foi desenvolvido em projetos, nos quais os dados são importados, processados e exportados. Dentre as etapas do protocolo para delineamento de ZMs (SOUZA et al., 2018a), o SDUM contempla: normalização dos dados; seleção de variáveis pela análise de correlação espacial; interpolação de dados por IDP (Inverso da Distância de uma Potência); Média Móvel (MM) e Vizinho Mais Próximo (VMP); delinear ZMs pelos métodos de agrupamento FCM e k-means e por métodos empíricos; e avaliar a qualidade das ZMs.

Entretanto, a arquitetura de desenvolvimento do SDUM passou a limitar tanto seu uso como sua expansão, pois foi desenvolvido para ambientes desktop, sendo dependente de instalação especializada e acesso prejudicado.

5.2.2 A plataforma AgDataBox (ADB)

Apesar da aceitação do SDUM por produtores e pesquisadores, a fim de mitigar as dificuldades inerentes e torná-lo mais acessível, foi iniciada uma reformulação para sua migração para uma plataforma web, com a inclusão de novos módulos e funcionalidades, mantendo-se sua gratuidade. Esse novo projeto, denominado de AgDataBox (ADB), constitui-se de uma plataforma de AD focada na AP, que disponibiliza ferramentas computacionais gratuitas para produtores rurais, pesquisadores e prestadores de serviços, por meio da integração de dados, softwares, procedimentos, metodologias, portais e dispositivos que compõem a plataforma.

Com esse objetivo foi, então, criada a aplicação AgDataBox-API (ADB-API), registrada junto ao INPI (BR 512018000899-2), centralizando e compartilhando os dados via web, na qual softwares aplicativos fornecem e consomem dados da mesma. A Figura 2 ilustra a arquitetura da plataforma ADB, destacando a integração que a ADB-API tem com os módulos de aplicações. A ADB-API está baseada no estilo arquitetural REST⁵, e a comunicação entre os softwares aplicativos e a ADB-API é feita por meio do protocolo HTTP (Hyper Text Transfer Protocol – Protocolo de Transferência de Hipertexto), proporcionando maior facilidade na integração entre as aplicações e a ADB-API. O formato de transferência de dados entre a ADB-API e quaisquer softwares aplicativos é o JSON⁶, permitindo, assim, a interoperabilidade de diversas aplicações, na qual são centralizados os dados e as rotinas de processamento.

⁵Sigla para Representational State Transfer – Transferência de Estado Representacional: Estilo de arquitetura de software que define um conjunto de restrições e propriedades baseados em [HTTP](#).

⁶Acrônimo para [JavaScript Object Notation](#): Formato compacto, simples e de [padrão aberto](#) para troca de dados entre sistemas computacionais.

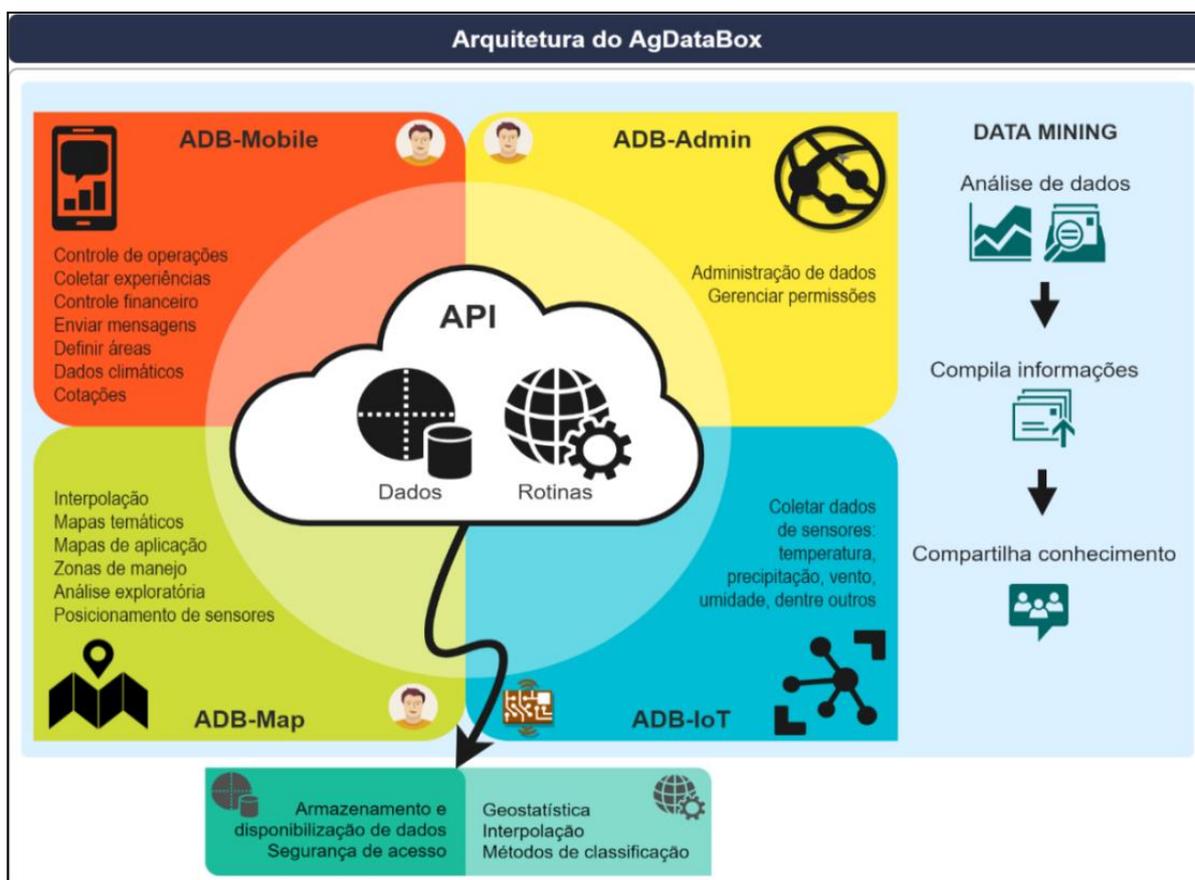


Figura 2 Arquitetura da plataforma web AgDataBox.
Fonte: Souza et al. (2018).

Os tipos de dados passíveis de armazenamento atualmente na ADB-API são: Área, Amostra, Atributo, Notícia, Categoria de notícia, Classe, Classificação, Cultura, Empresa, Entidade, Entrega, Funcionário, Geometria, Grade amostral, Insumo, Log, Mapa, Mapa de Zona de Manejo, Máquina, Marca, Notícia, Ocorrência, Operação em campo, Pixel amostral, Pixel de mapa, Pixel de Zona de Manejo, Ponto amostral, Precipitação, Safra, Semente, Solo, Tipo de ocorrência, Tipo de operação, Unidade de medida, Usuário, Variedade, Veículo e Zona de Manejo. Os dados armazenados na ADB-API estão associados ao seu proprietário, sendo que ADB-API permite compartilhá-los com outros usuários da ADB-API.

As permissões de acesso são concedidas por tipo de dado e por nível de acesso, como visualização, criação, edição e exclusão de dados, sendo que todos os usuários precisam de login e senha para realizar qualquer operação. Ao realizar uma autenticação, o usuário recebe uma chave criptografada gerada pela ADB-API (token) que será utilizada para realizar as operações sobre os recursos disponibilizados, e expira em 24 horas, a fim de garantir maior segurança à plataforma.

Nota-se também em destaque na arquitetura da plataforma ADB (Figura 2) as aplicações que consomem recursos e fornecem dados para ADB-API, a saber: (i) ADB-Mobile (registrado junto ao INPI: BR 512018000896-8); (ii) ADB-Map (registrado junto ao INPI: BR512018000894-1); (iii) ADB-Admin; e (iv) ADB-IoT.

O AgDataBox-Mobile (SCHENATTO et al., 2017c), desenvolvido para dispositivos móveis com sistema operacionais Android, possui duas funcionalidades principais: (i) registrar fatos pelo produtor rural e organizar operações em sua propriedade, a fim de manter um histórico das ocorrências de uma safra, com seus dados sendo armazenados tanto localmente no dispositivo móvel enquanto estiver off-line, e posteriormente persistir os dados ADB-API ao estar on-line; e (ii) permitir o registro da variável experiência do produtor quanto à divisão das áreas em ZMs. A Figura 3 apresenta duas interfaces gráficas relativas a estas funcionalidades do ADB-Mobile.

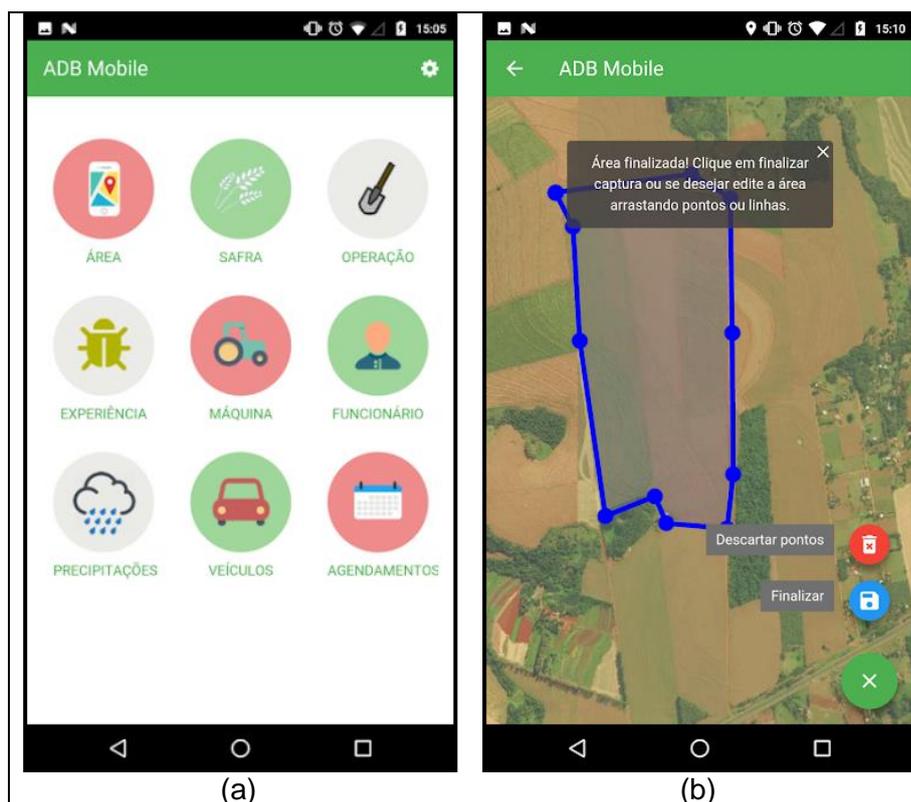


Figura 3 ADB-Mobile: Interface administrativa (a); Interface de demarcação de áreas (b).

Outra aplicação que compõe a plataforma ADB é o AgDataBoxMap (ADB-Map), cuja primeira versão já está disponível, mas continua em desenvolvimento e testes para aprimoramento. O ADB-Map visa processar dados espaciais para criar mapas temáticos e delinear ZMs, dando subsídio ao uso de técnicas relacionadas com a AP. Na concepção do ADB-Map, as funcionalidades estão divididas em módulos conceituais, conforme ilustrado na Figura 4, sendo compostos por um back-end, contendo os algoritmos e regras de negócio, e um front-end, que é a interface de interação com o usuário. Estas funcionalidades são: importação/exportação de dados; análise e filtragem de dados; normalização de dados; interpolação de dados e geração de mapas temáticos; delineamento e avaliação de ZMs; geração e exportação de mapas de aplicação; e métodos de otimização de amostragem em função de sua localização e de instalação de sensores. Várias destas metodologias e seus

respectivos algoritmos integrados ao ADB-Map já foram desenvolvidos (BETZEK et al., 2018; GAVIOLI, 2017; SCHENATTO et al., 2017b, SCHENATTO, 2017a; FONTANA, 2017; SCHENATTO, 2014), e outros estão em fases iniciais.

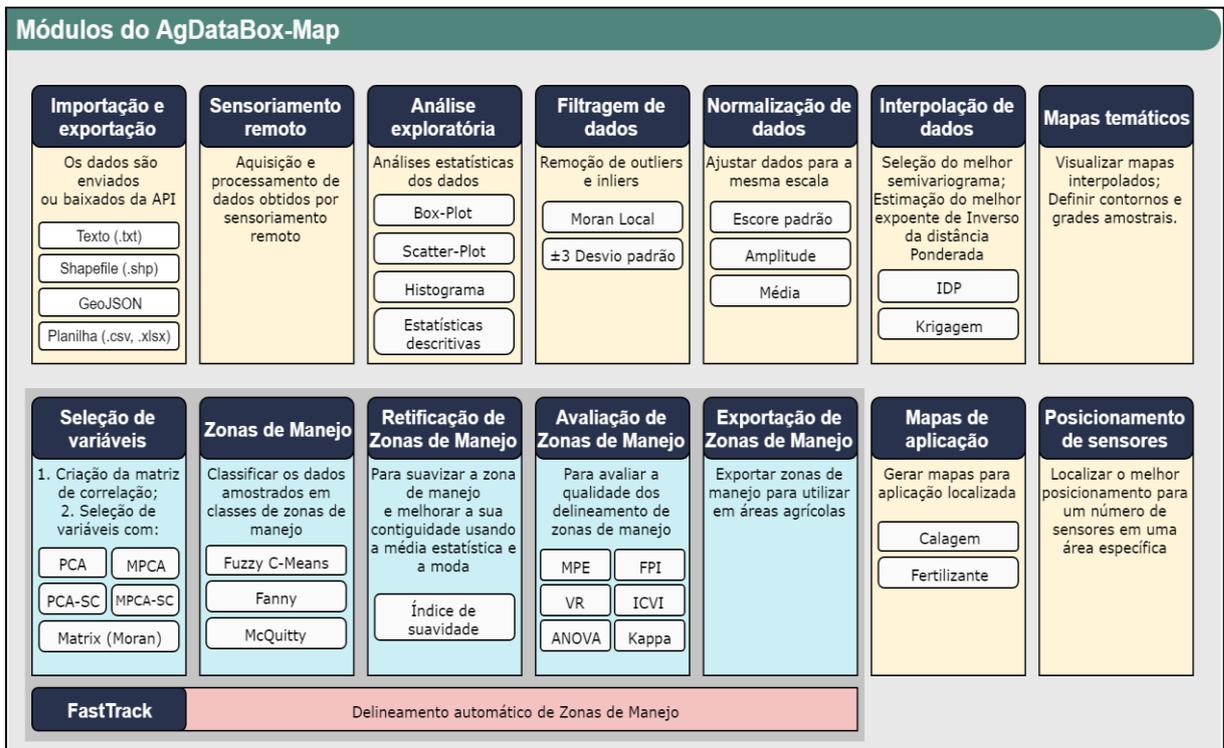


Figura 4 Organização dos módulos que compõem o software AgDataBox-Map.
Fonte: Souza et al. (2018).

Outra componente da plataforma AgDataBox é a aplicação web AgDataBox-Admin (ADB-Admin). Esta componente web, desenvolvida na linguagem de programação PHP, administra os recursos oferecidos pela ADB-API, principalmente quanto ao armazenamento de dados da plataforma recebidos dos softwares aplicativos. Este front-end possibilita a visualização, criação, edição e exclusão dos dados de usuários e funcionários, culturas, insumos, máquinas, entre outros, relativos a uma unidade rural (Figura 5).

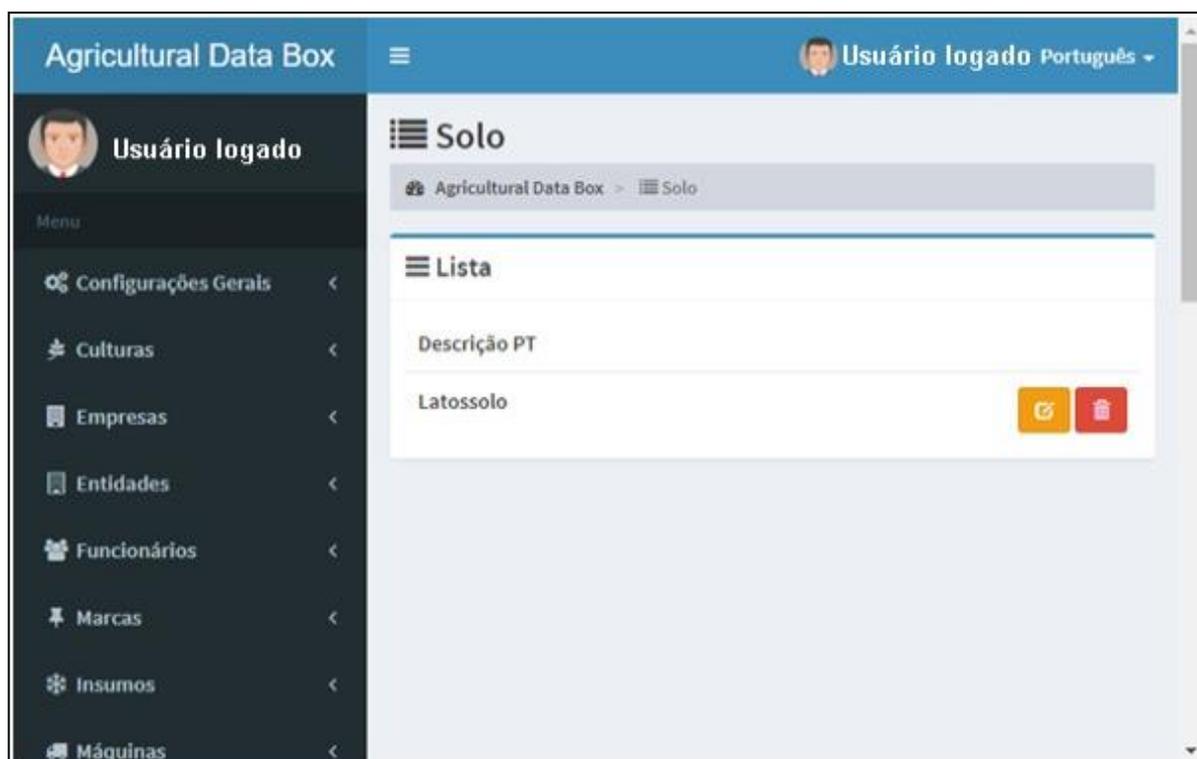


Figura 5 Interface do AgDataBox-Admin (ADB-Admin).
Fonte: Souza et al. (2018).

Há também a aplicação ADB-IoT (IoT – Internet of Things) da plataforma AgDataBox, que já está em desenvolvimento, e objetiva projetar redes de sensores interconectados para monitoramento hídrico e climático, aplicados a ZMs (Figura 6).

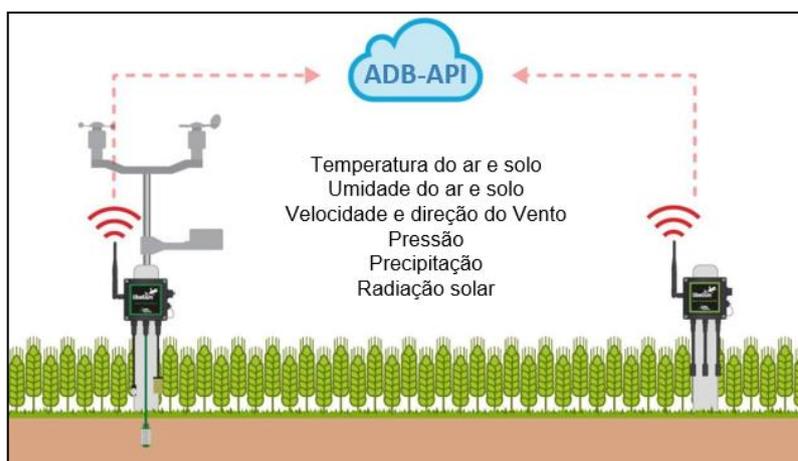


Figura 6 Representação da disposição de sensores em campo conectados com a ADB-API.
Fonte: Souza et al. (2018).

O objetivo do módulo ADB-IoT será disponibilizar uma estrutura de software com referencial para geolocalização de sensores em uma área agrícola visando a coleta de dados a partir desta rede de sensores instalados em campo. Esses dados são disponibilizados no servidor de BigData do ADB-IoT, persistidos na ADB-API. Para monitorar os sensores, um painel administrativo foi desenvolvido para ser acessado por meio de uma página web.

Entretanto, a atual versão da plataforma ADB-API permite apenas gerenciar modelos de dados agrícolas, fazendo a persistência e a disponibilização de dados para as aplicações clientes. Apesar do módulo ADB-Map prover a exportação das ZMs delineadas em formatos de shapefile⁷, não consta ainda a implementação na plataforma ADB-API que proporcione a orientação geográfica do operador com a máquina e os respectivos implementos em campo, geração e armazenamento de dados em tempo real de operações agrícolas, e os devidos relatórios destas operações. É neste ínterim que se enquadram ADB-API-Tracker e o ADB-Tracker, sendo uma solução em software e hardware para orientação de operações agrícolas em ZMs.

A solução aqui proposta contempla uma API paralela e comunicável com a ADB-API, denominada de ADB-API-Tracker, que importará os shapefiles de ZMs e demais dados correlatos da ADB-API, associando-os com a navegação em campo. Para orientar o operador em campo durante uma operação agrícola em tempo real pelas ZMs, consumir e persistir os dados na ADB-API-Tracker, é proposto um software aplicativo para dispositivos móveis (Android), chamado ADB-Tracker. Associado a esta solução, é também apresentado um dispositivo de hardware, construído com componentes livres e de baixo custo, capaz de executar o software ADB-Tracker 2 – uma versão adaptada do software ADB-Tracker específica para ser executada neste hardware, otimizando a leitura de dados em sensores com maior precisão, além de tornar o software ADB-Tracker independente de fabricantes tanto de smartphones quanto de versões de sistemas operacionais proprietários presentes nestes respectivos smartphones.

5.3 Material e Métodos

5.3.1 ADB-API-Tracker – Arquitetura e desenvolvimento

Na plataforma ADB por meio da ADB-API são previstos procedimentos, metodologias bem como suas implementações, e armazenamento de dados, desde a coleta em campo até o delineamento das ZMs. A aplicação ADB-Map contempla, ainda, a geração de mapas em formato de shapefiles. Entretanto, para utilizar em campo as ZMs delineadas pela ADB-Map, são necessários alguns tipos de dados não previstos na ADB-API, bem como o processamento destes novos dados, para que seja possível gerar relatórios e auxiliar na tomada de decisão – característica central em plataformas de AD, pelos produtores agrícolas após operações agrícolas, sejam elas de plantio, aplicação de defensivos, colheita, entre outras.

Para manter a característica que softwares especialistas modernos exigem, mesmo

⁷Shapefile é um formato de arquivo contendo dados geoespaciais em formato vetorial, bastante usado por Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

quando desenvolvidos em diferentes linguagens de programação, utilizando protocolos de comunicação heterogêneos ou formato de troca de dados e arquitetura de hardware de dispositivos não similares e, ainda assim, precisam interagir entre si para o que objetivo maior da plataforma de software seja alcançado, têm-se os serviços web. Estes serviços atuam exatamente na integração de software, promovendo a interoperabilidade e o acesso destes softwares em uma rede de computadores, na qual a comunicação se realiza sobre o protocolo de transferência HTTP.

Desse modo, a API como um serviço web define o padrão para representação das mensagens trocadas, maximizando a possibilidade de desenvolver sistemas de tempo real com componentes de software reutilizáveis e francamente acoplados, individualizando cada parte do desenvolvimento. É neste contexto que foi desenvolvida a ADB-API-Tracker. A Figura 7 representa a estrutura da ADB-API-Tracker com seu banco de dados e rotinas próprias, tendo seu acesso via interface web por qualquer computador em qualquer desde que tenha uma conexão com a internet.

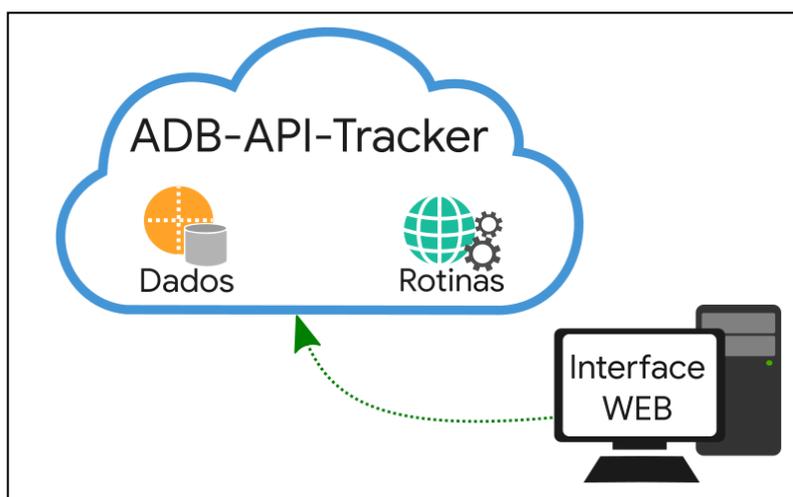


Figura 7 Representação da ADB-API-Tracker e seu acesso via interface web.

O Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) utilizado na ADB-API-Tracker foi o PostgreSQL, versão 11.1, com a extensão Postgis, que é específica para trabalhar com dados espaciais e necessária para realizar operações diretamente sobre shapefiles e áreas geométricas. Nas operações em campo, ao utilizar as ZMs delineadas e exportadas em formato de shapefile, alguns dados específicos precisam ser manipulados, e estes foram criados no banco de dados da ADB-API-Tracker. A Figura 8 apresenta a estrutura do banco de dados da ADB-API-Tracker com os dados e seus respectivos tipos criados.

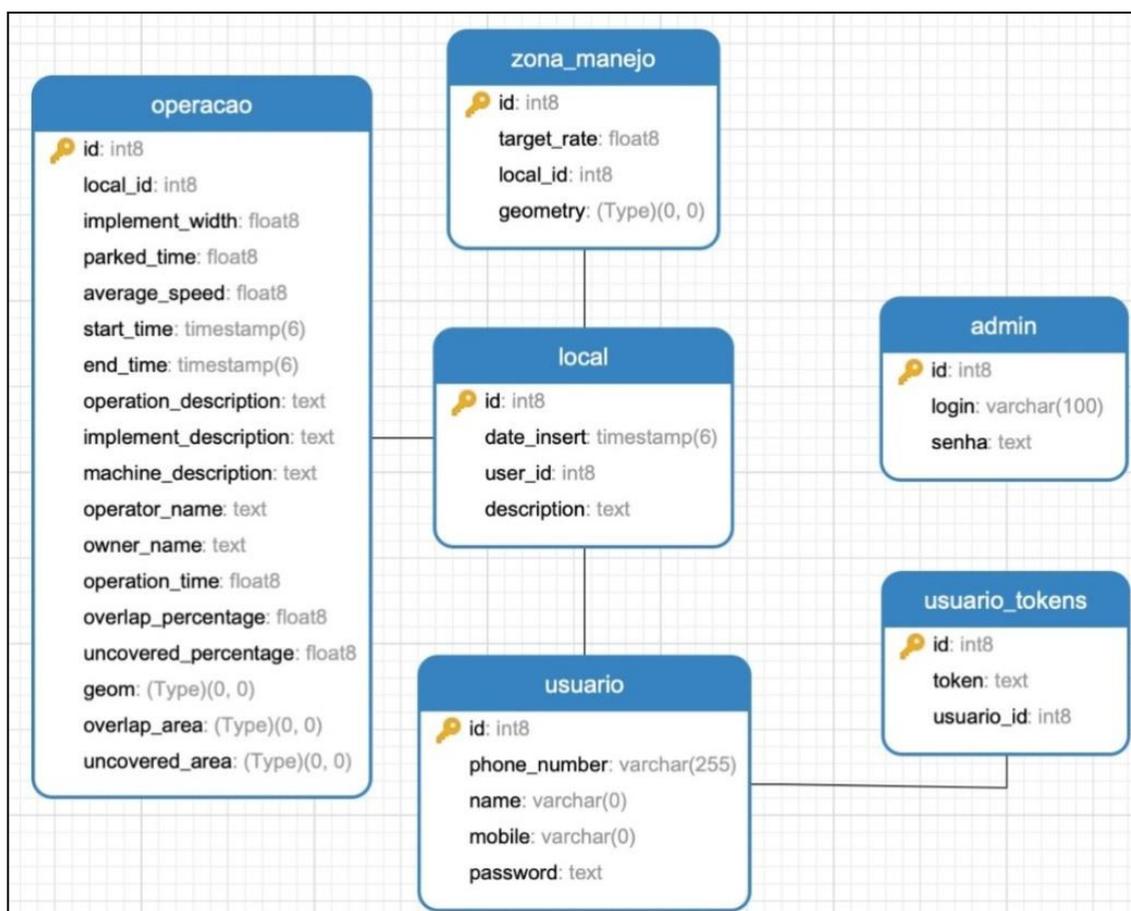


Figura 8 Banco de dados da ADB-API-Tracker: Dados e seus respectivos tipos.

Foi utilizada a linguagem específica do SGBD PostgreSQL, chamada de PL/pgSQL, que permite a execução de rotinas de forma eficiente diretamente sobre o banco de dados. Essa linguagem foi utilizada no desenvolvimento das rotinas que envolvem desde o armazenamento dos shapefiles e toda sua manipulação, bem como os cálculos geométricos sobre as ZMs (área coberta e não coberta de uma operação agrícola, tempo de operação, taxa de sobreposição), e demais rotinas específicas sobre o banco de dados.

Embora o projeto ADB se apresente como uma plataforma de AD que engloba todas as etapas do protocolo de Souza et al. (2018a), a ADB-API-Tracker pode ser utilizada de forma independente da ADB-API e suas aplicações. Caso o produtor agrícola opte em utilizar outros softwares de AP para delinear suas ZMs, é possível fazer toda a manipulação dos usuários da ADB-API-Tracker, bem como arquivos de ZMs no formato shapefile de suas áreas e suas respectivas operações agrícolas de forma direta por uma aplicação com interface web desenvolvida para essa interação.

Essa interface web para acesso e manipulação de dados da ADB-API-Tracker foi desenvolvida utilizando-se das tecnologias PHP para a camada da implementação das regras de negócios e funcionalidades associadas, com uso da biblioteca gasparesganga⁸ (versão

⁸Biblioteca PHP para ler shapefiles e seu respectivo arquivo.DBF no formato GeoJSON.

2.4.3) para leitura e manipulação dos dados geométricos das ZMs, com auxílio do framework⁹ Codelgniter, versão 3.1.2. Esse framework é livre e gratuito, sendo bastante estável (lançado em 2006), e atualmente mantido pela British Columbia Institute of Technology (BCIT), um instituto de tecnologia aplicada em Vancouver, Canadá. Para a camada de representação visual da ADB-API-Tracker foram utilizadas a linguagem de programação JavaScript, associada às tecnologias CSS (Cascading Style Sheets, mecanismo para adicionar estilo a um documento web) e HTML (linguagem de marcação utilizada na construção de páginas web, que podem ser interpretados por navegadores).

Para acessar o ambiente de usuário da ADB-API-Tracker é preciso realizar a autenticação. A Figura 9 apresenta a tela de login da ADB-API-Tracker.

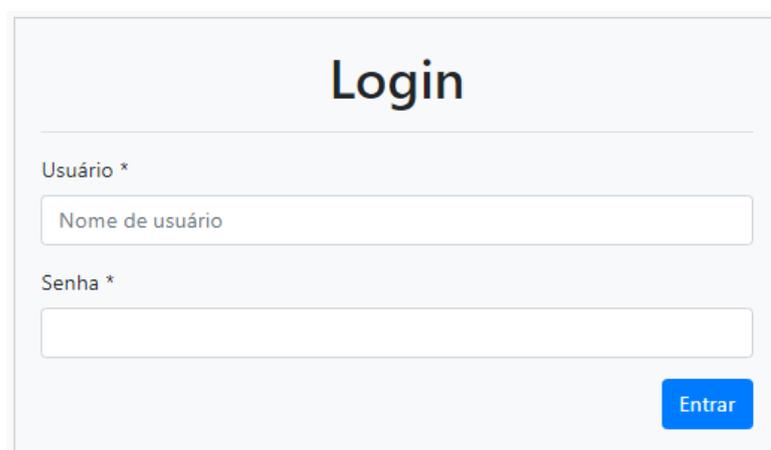
A imagem mostra a interface de login da ADB-API-Tracker. No topo, o título "Login" está centralizado em uma fonte grande e escura. Abaixo do título, há um formulário com dois campos de entrada: "Usuário *" e "Senha *". O campo "Usuário *" contém o texto "Nome de usuário" em uma fonte menor e cinza. O campo "Senha *" está vazio. À direita do campo "Senha *" há um botão azul com o texto "Entrar" em branco.

Figura 9 Interface de login da ADB-API-Tracker.

Ao fazer login, há acesso a três funcionalidades da ADB-API-Tracker, sendo elas: Usuários, Arquivos e Operações, sempre com privilégios de administrador (criar, ler, atualizar e remover dados). Para cadastrar um usuário é preciso informar seu nome, telefone, um login, senha e confirmação de senha. Todos estes dados são obrigatórios ao cadastrar um novo usuário. A qualquer momento é possível listar os usuários cadastrados e editar ou remover individualmente cada cadastro (Figura 10).

⁹Framework é uma abstração que une códigos comuns entre vários projetos de software provendo uma funcionalidade genérica, facilitando e aprimorando o desenvolvimento de softwares.

ADB Tracker Usuários Arquivos Operações

Usuários

Cadastro, edição e remoção

Home > Usuários Cadastrar

Mostrar: 10

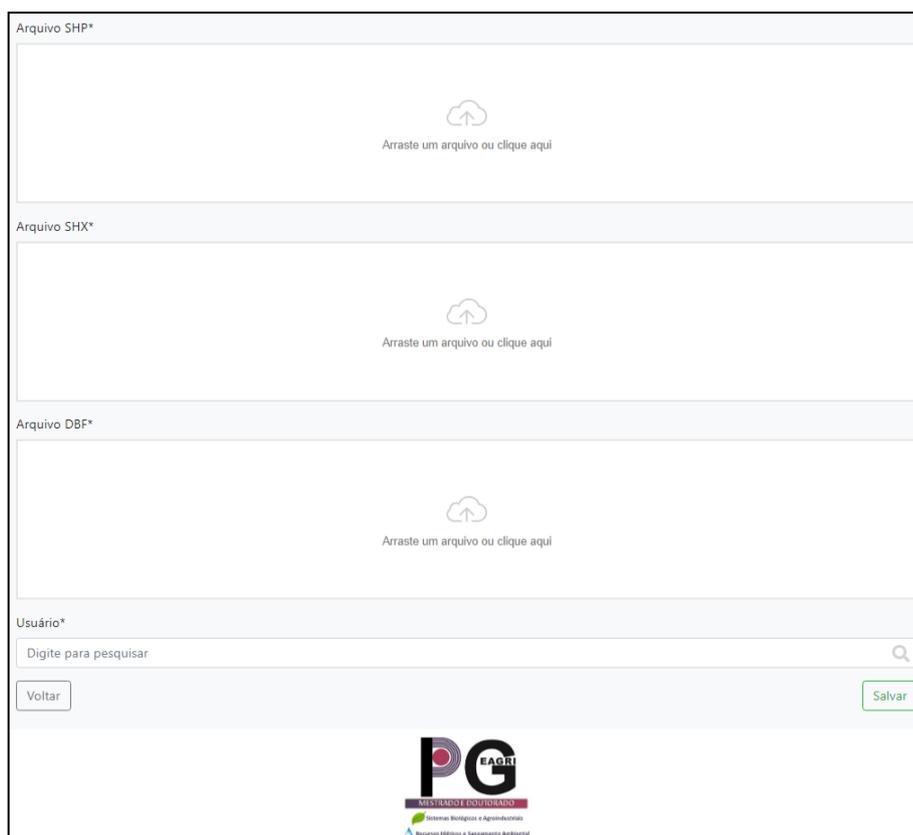
Nome	Telefone	Ações
Aldo Tasca	4599134	Editar Remover
Claudio Bazzi	4599104	Editar Remover
Daniel Cavalcanti Jeronymo	4198864	Editar Remover
Eduardo Godoy	4599917	Editar Remover
Elder Schemberger	4599825	Editar Remover
Jerry Adriani Johann	4599972	Editar Remover
Silvia Renata Machado Coelho	4599973	Editar Remover
Suzana Costa	4599813	Editar Remover

Exibindo 1 até 8. Total de 8 registros armazenados

PG
SISTEMA DE GESTÃO DE ATIVIDADES
Gestão de Atividades e Registros

Figura 10 Interface “Usuários” da ADB-API-Tracker.

A funcionalidade relativa a Arquivos foi desenvolvida para importar para a ADB-API-Tracker os shapefiles das ZMs, independente de em qual software de AP elas tenham sido delineadas. A exigência da ADB-API-Tracker é que os shapefiles das ZMs estejam estruturados em três camadas de dados, com as extensões.SHP (dados vetoriais das ZMs conforme o georreferenciamento),.DBF (atributos dos vetores do arquivo.SHP), e.SHX (camada que faz a relação entre os dados vetoriais do.SHP e os atributos armazenados no.DBF). A Figura 11 apresenta a interface na qual estes arquivos são importados, processo que pode ser realizado pela estrutura de navegação do sistema operacional no computador utilizado pelo usuário, ou somente arrastando o arquivo com o mouse para sua respectiva área.



Arquivo SHP*

Arraste um arquivo ou clique aqui

Arquivo SHX*

Arraste um arquivo ou clique aqui

Arquivo DBF*

Arraste um arquivo ou clique aqui

Usuário*

Digite para pesquisar

Voltar

Salvar

PG EAGRI
 MESTRADO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS
 Instituto Biológico e Agropecuário
 Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Figura 11 Interface de importação das camadas do arquivo shapefile para a ADB-API-Tracker.

Após as áreas das camadas do shapefile serem inseridas na respectiva área da interface web da ADB-API-Tracker, é preciso associar a qual usuário aquele shapefile pertence. Só é possível associar um shapefile a um único usuário previamente cadastrado no banco de dados da API, ao passo que somente este usuário terá acesso ao mapa temático daquele arquivo de ZMs a ele associado.

A terceira funcionalidade visível ao usuário autenticado na interface web da ADB-API-Tracker são os relatórios das operações realizadas em campo utilizando-se os mapas das ZMs. Nesta área ficam visíveis, mas não são editáveis, os dados persistidos no banco de dados desta API, bem como alguns cálculos já realizados sobre estes dados, tais como tempo parado durante uma operação, velocidade média e porcentagem de cobertura da área pela operação (Figura 12).

Local	Usuário	Lar. Impl.	Tempo Parado	Vel. Média	Descrição	Área Coberta	Início	Término
Zzm_areaB2.shp	Elder Schemberger	333	0	0	Ooo		2018-12-12 14:25:33.851	2018-12-17 21:08
Zzm_areaB2.shp	Elder Schemberger	222	0	0	Yhh		2018-12-11 15:45:40.874	2018-12-11 16:01
3zm_areaA2.shp	Elder Schemberger	333	0	0	lil		2018-12-12 14:22:26.614	2018-12-12 14:23
3zm_areaA2.shp	Elder Schemberger	10	60	2,2	Semear	100	2018-07-30 17:03:17	2018-08-27 18:38
3zm_areaA2.shp	Elder Schemberger	100	0	0	Descrição da operação		2018-12-11 20:43:16.994	2018-12-11 20:43
3zm_areaA2.shp	Elder Schemberger	1888	0	0	Plantarr		2018-12-12 14:16:26.507	2018-12-12 14:18

Figura 12 Interface de relatório das operações realizadas em campo.

Todos os cálculos com os dados das operações são realizados por rotinas desenvolvidas na ADB-API-Tracker, não sendo exigido processamento do dispositivo que contém o software aplicativo para tal, requisito base de funcionamento de softwares desenvolvidos na perspectiva da arquitetura de serviços web. Essas rotinas foram desenvolvidas na linguagem de programação PHP e na linguagem PL/pgSQL, atuando diretamente sobre o banco de dados da API. Entretanto, no sentido de compor a plataforma ADB e proporcionar uma melhor experiência do usuário em utilizar uma plataforma de AD, a ADB-API-Tracker pode se comunicar com a ADB-API utilizando-se dos protocolos de serviços web, com requisições HTTP e entrega de dados no formato JSON (Figura 13).

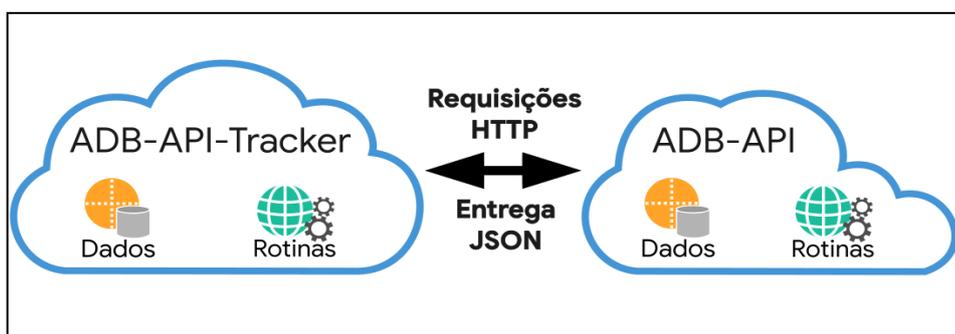


Figura 13 A ADB-API-Tracker e a ADB-API: Possibilidade de troca de dados via HTTP/JSON.

Essa característica de interação entre APIs é também decorrente da utilização da arquitetura de desenvolvimento de software no formato de serviços web e, particularmente para a comunicação entre a ADB-API-Tracker e a ADB-API, poderá fazer a troca de dados cadastrais, permissões e outros dados relativos aos produtores configurados no ADB-Admin

e vice-versa, importação automática dos shapefiles das ZMs delineadas pelo ADB-Map, bem como interagir com o ADB-Mobile em suas atribuições.

5.3.2 ADB-Tracker – Desenvolvimento e Uso

A ADB-API-Tracker deve ser hospedada em um servidor web, sendo acessível de qualquer lugar via internet. É por meio dela que usuários são cadastrados, bem como os arquivos das ZMs no formato shapefiles são inseridos no seu banco de dados. Entretanto, para executar as operações em campo utilizando-se das ZMs delineadas e associadas a determinado usuário via ADB-API-Tracker, se faz necessário um software aplicativo que auxilie o produtor na execução das operações agrícolas bem como na persistência dos respectivos dados. Logo, foi desenvolvido um software front-end (cliente), denominado ADB-Tracker, cujo objetivo é consumir e persistir dados da ADB-API-Tracker. Seguindo o protocolo de comunicação da arquitetura de serviços web, a troca de dados entre a ADB-API-Tracker e o ADB-Tracker ocorre por requisições HTTP e envio de dados no formato JSON, conforme ilustrado na Figura 14.

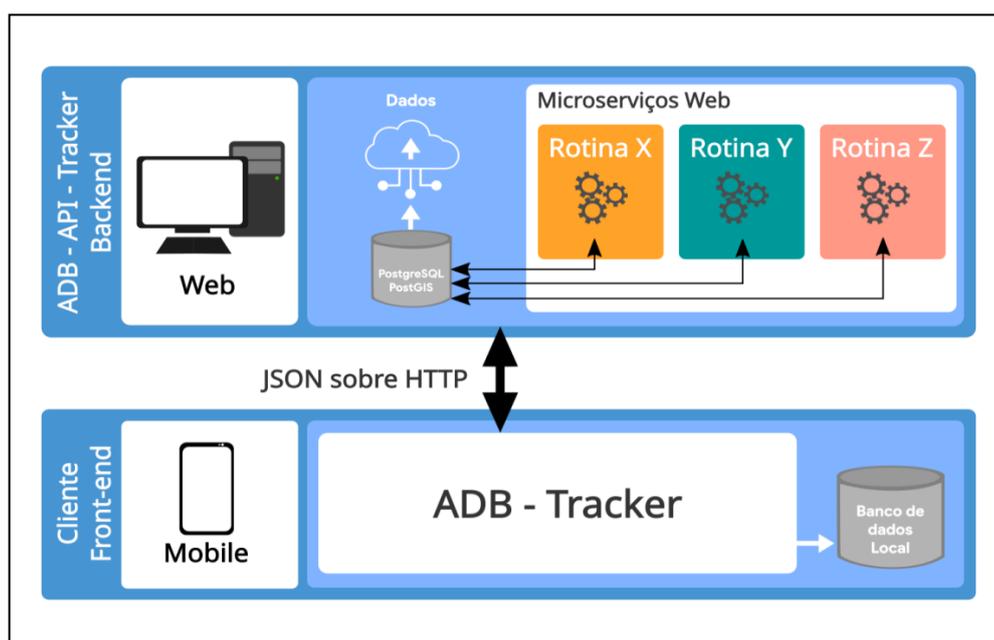


Figura 14 Comunicação entre a ADB-API-Tracker e o ADB-Tracker.

O software aplicativo ADB-Tracker, foi desenvolvido na linguagem de programação JavaScript, com uso do framework ReactNative¹⁰, versão 0.57.0. Esse framework é livre e gratuito, mantido pelo Facebook, e gera códigos nativos para os sistemas operacionais Android, iOS e Windows Mobile, contemplando, dessa forma, praticamente todos os smartphones. O React Native proporciona uma combinação de componentes computacionais,

¹⁰Site oficial: <http://www.reactnative.com/>

sejam eles desenvolvidos em Java, Objective-C, JavaScript ou outra linguagem de programação web, deixando o software aplicativo idêntico em qualquer sistema operacional ou smartphone que o esteja executando.

Como em campo pode não haver conexão com a internet, e também visando não aumentar o processamento e gasto de bateria no smartphone enviando em tempo real os dados gerados durante uma operação agrícola, todos os dados coletados/gerados são armazenados localmente, no formato padrão de comunicação JSON, adaptando um princípio do próprio React Native denominado de arquitetura offline first (Figura 15), a qual proporciona uma experiência ao usuário em que ter ou não ter conexão com a internet é transparente, e a estrutura da arquitetura de implementação do software se encarrega de realizar o armazenamento local ou sincronizar com a ADB-API-Tracker.

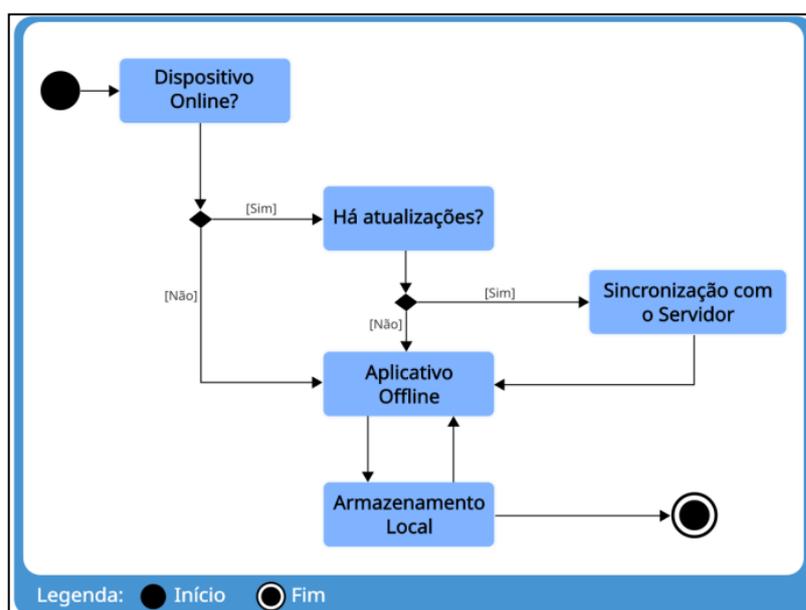


Figura 15 Arquitetura offline first, do framework React Native.

Para esse armazenamento local foi utilizada a biblioteca `asyncstorage`, que o próprio framework fornece, fazendo ela o papel de banco de dados local. A adaptação da arquitetura offline first ocorreu no momento em que, mesmo havendo sinal de internet em campo durante a execução da operação agrícola sobre as ZMs, os dados só serão persistidos no banco de dados da ADB-API-Tracker após o operador finalizar sua execução, conforme ilustrado na Figura 15, sendo também mantidos localmente no aplicativo.

Para os mapas reais que servem de suporte na plotagem georreferenciada dos mapas temáticos das ZMs do ADB-Tracker, foi utilizada a Google Maps API, versão 3. Essa biblioteca de mapas é um serviço gratuito, o qual pode ser incorporado em qualquer aplicação particular via código fonte na linguagem JavaScript, permitindo manipular o mapa e adicionar

conteúdo a este, tendo 99% de cobertura do globo terrestre¹¹. Entre as bibliotecas oferecidas pela Google Maps API, duas em especial se destacaram no projeto do ADB-Tracker, a saber: canvaslayer – biblioteca para adicionar camadas a um mapa da Google Maps JavaScript API, provendo visualização eficiente dos dados; e a geolocationmarker – biblioteca para adicionar um marcador que rastreia a localização de um usuário com precisão.

O fluxo de trabalho entre os módulos front-end (ADB-Tracker) e back-end (ADB-API-Tracker) está baseado na interação inicial com envio/recebimento de dados, processamentos independentes em cada lado e uma interação final, permeada com envio/recebimento de informações. Esse fluxo ocorre conforme o diagrama da Figura 16.

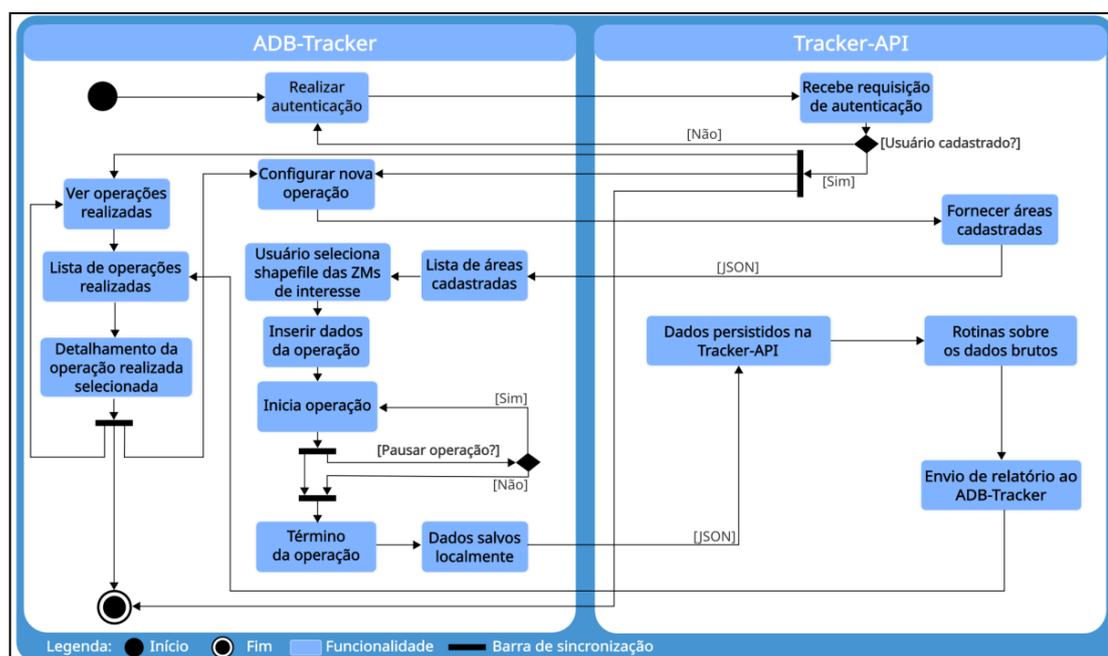


Figura 16 Diagrama de atividades da UML (Unified Modeling Language) com o fluxo de trabalho entre o ADB-Tracker e a ADB-API-Tracker.

Nota-se no fluxo de trabalho representado na Figura 16, que cada módulo de software tem suas funções específicas e independentes; entretanto, um dos lados depende dos dados da outra parte, que são enviados/recebidos por requisições HTTP no formato JSON, formato padrão em arquitetura de serviços web, e já implementada na ADB-API, o que facilita a comunicação entre ambas as APIs.

O usuário final, em campo, tem acesso somente ao software aplicativo ADB-Tracker. Ao instalá-lo em seu smartphone e iniciar sua execução, a primeira interface que lhe será apresentada é de autenticação (Figura 17a), na qual deve informar seu telefone e senha, conforme cadastrados na ADB-API-Tracker e clicar em “Autenticar”. O usuário foi definido para ser o telefone cadastrado, seguindo padronização da ADB-API, a fim de facilitar a comunicação entre as APIs. Após autenticado, a próxima interface gráfica a ser apresentada

¹¹ Informações e demais artefatos obtidos em: <https://maps.googleapis.com/maps/api/js>

fornece as opções de “Iniciar nova operação” ou listar as “Operações realizadas” (Figura 17b).

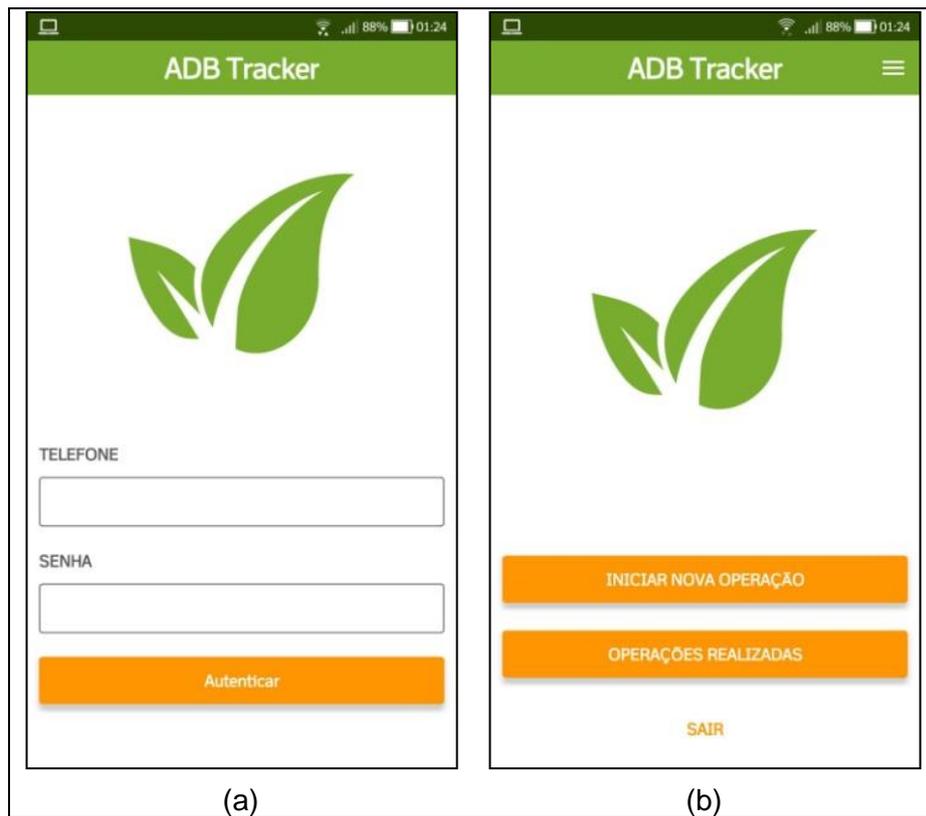


Figura 17 ADB-Tracker: Interface de autenticação (a); Interface para escolha da funcionalidade a ser realizada após autenticação (b).

Caso o operador esteja iniciando uma nova operação agrícola, deverá inserir os dados relativos à largura do implemento (com precisão em centímetros), descrever qual a operação agrícola será realizada, qual o implemento e a máquina que serão utilizados, quem será o operador e quem é o proprietário daquela área (Figura 18a), sendo que todos estes campos são de preenchimento obrigatório. Preenchidos estes campos, o operador deverá escolher qual o arquivo shapefile cadastrado na ADB-API-Tracker e associado a seu usuário a ser utilizado na operação agrícola que está iniciando (Figura 18b).



Figura 18 ADB-Tracker: Interface de configuração de uma nova operação (a); Interface para escolha o shapefile que fará uso na operação configurada (b).

Após o usuário ter configurado a nova operação, selecionado o shapefile desejado, com a respectiva área produtiva e ZMs delineadas, é apresentado ao usuário o mapa temático das ZMs, centralizado conforme sua posição geográfica obtida por meio do GPS do smartphone. Caso o usuário esteja utilizando o smartphone em outra posição geográfica que a das ZMs, lhe será informado na parte superior que está “Fora da área”, e o deslocamento nestes locais não será contabilizado nos relatórios pós-operação. A Figura 19 ilustra duas áreas e suas respectivas ZMs plotadas sobre o mapa real, uma com a área delineada em duas ZMs (Figura 18a) e a outra delineada em três ZMs (Figura 18b). Na parte inferior da imagem em tela é apresentada a velocidade na qual está havendo o deslocamento, obtido via GNSS.

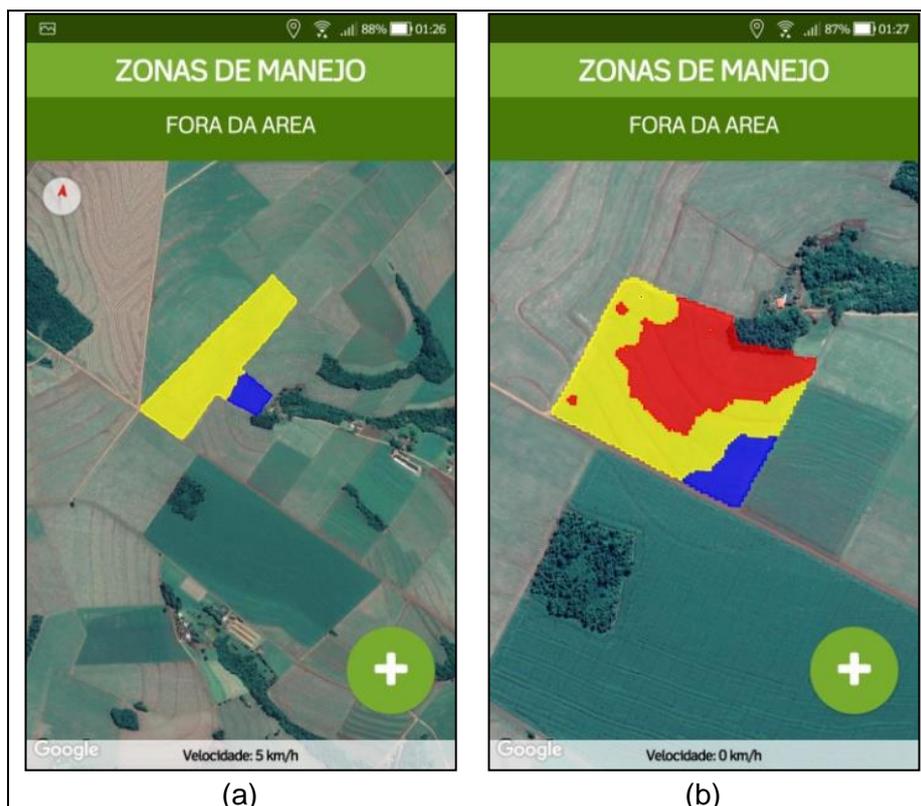


Figura 19 ADB-Tracker: Interface de operação para determinada área delimitada com três ZMs (a); Interface de operação para determinada área delimitada com três ZMs (b).

Em qualquer momento o operador pode pausar ou encerrar a operação. Ao pausar, ela fica interrompida até que ele a encerre ou volte a executá-la, e ao parar, os dados da operação são salvos no banco de dados local e persistidos no banco de dados da ADB-API-Tracker imediatamente ao obter sinal de internet. As opções para pausar ou finalizar a operação são acessadas por meio do ícone verde, no canto inferior direito da tela de operação.

Ao iniciar a navegação pelas ZMs, o mapa vai sendo marcado visualmente por onde o operador vai passando. Esse rastreamento é realizado objetivando guiar o operador pelas ZMs, orientando-o pelos locais nos quais não passou ou está ocorrendo uma sobreposição geográfica. Essa marcação visual é feita conforme a largura do implemento configurada antes de iniciar a operação.

Ao encerrar a operação, os dados são salvos localmente e persistidos imediatamente ao sinal de internet no banco de dados da ADB-API-Tracker, na qual as rotinas inerentes geram o relatório da operação, que é disponibilizado no ADB-Tracker. Estes relatórios são listados conforme a operação realizada (Figura 20a). Selecionando um deles, são apresentadas informações como tempo parado, velocidade média da operação, local, porcentagem de área coberta, tempo de execução da operação, porcentagem de sobreposição ocorrida, horário de início e fim, quem foi o operador e em qual área foi realizada a operação, entre outros (Figura 20b).

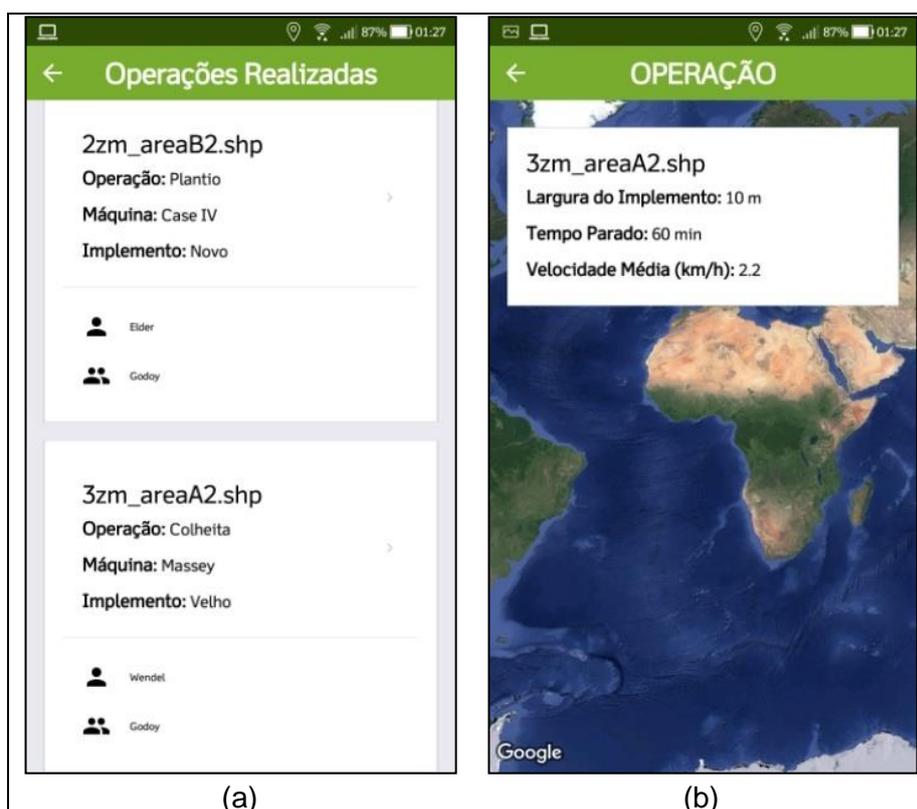


Figura 20 ADB-Tracker: Interface de relatórios de operações realizadas (a); Interface de relatório detalhado para determinada operação realizada (b).

5.3.3 Dispositivo especializado de hardware e o ADB-Tracker-2

Atualmente há uma grande variedade de modelos, marcas e configurações de smartphones, bem como de versões de sistemas operacionais para estes dispositivos. Isso configura-se em uma vantagem ao dar ao usuário opções de escolha, mas é também um fator limitante para desenvolvedores de softwares aplicativos que, em geral, limitam-se a determinados modelos de hardware ou ainda ficam engessados a versões específicas de sistemas operacionais destes smartphones.

Para mitigar os desafios inerentes a esse contexto e aprimorar a experiência do usuário ao utilizar o ADB-Tracker, foi desenvolvido um dispositivo de hardware de baixo custo, com componentes e sistema operacional livre e gratuito, capaz de executar o ADB-Tracker comunicando-se com a ADB-API-Tracker de forma análoga a qualquer smartphone. A arquitetura e a implementação desse dispositivo de hardware seguem também a política de todo o projeto ADB, que é utilizar componentes livres e escalonáveis (propiciar a adição de outros sensores/funcionalidades conforme necessidade). O dispositivo construído também objetiva ser de custo acessível aos produtores, viabilizando seu acesso para pequenos produtores, tornando a experiência ADB-Tracker independente de marca ou modelo de smartphone, bem como de sistema operacional mobile.

Na automação, em geral, há forte tendência do uso de componentes livres e de baixo custo, fato refletido também no setor agrícola. Neste contexto, alguns microcomputadores têm

se destacado, entre os quais o RaspberryPi¹², que é visto como um microcomputador que pode conectar-se a um monitor como dispositivo de saída e comunicar-se com dispositivos de entrada (teclado ou mouse), suportando de forma facilitada a conexão com sensores e atuadores. Contém um processador central, um processador gráfico, slot para cartões de memória, interface USB, HDMI e seus respectivos controladores. Também apresenta memória RAM, entrada de energia e barramentos de expansão, tudo integrado numa única Placa de Circuito Impresso (PCI).

A versão utilizada no dispositivo de hardware desenvolvido é a RaspberryPi 3 (Figura 21), que possui Bluetooth 4.1, é equipada com um processador Broadcom de quatro núcleos de 1,2 GHz com suporte a 64 bits e arquitetura ARM Cortex A53, 1 GB de memória RAM e chip gráfico VideoCore IV. Como interfaces de entrada e saída, são disponibilizadas quatro portas USB, entrada para cartão microSD, porta Ethernet, saída de áudio e HDMI, e 40 pinos GPIO para conectar diversos tipos de sensores a este microcomputador. Esta versão da Raspberry utilizada também já tem sensor para internet wifi de forma nativa, não precisando de um sensor externo para essa função.

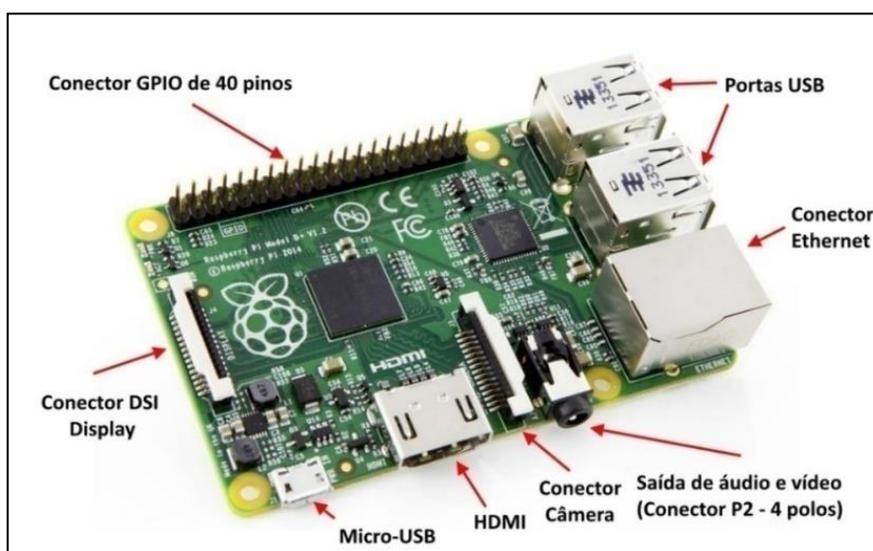


Figura 21 Microcomputador RaspberryPi 3.

Como dispositivo de saída para interação do usuário via dispositivo com o software ADB-Tracker, foi acoplada uma tela Raspberry Pi Display V1.1 de 7 polegadas, touchscreen, conectada ao microcomputador Raspberry por meio de um cabo flat acoplado ao conector DSI Display. O módulo do sensor com a respectiva antena de GPS utilizado foi o GY-GPS6MV2, acoplado ao Raspberry pelo conector GPIO com uso de cabos jumpers, realizando a leitura e o envio de dados por meio de comunicação serial, e consumindo apenas 45mA de corrente.

Para alimentação do dispositivo foram utilizadas duas baterias recarregáveis, modelo

¹² Site oficial: <https://www.raspberrypi.org/>

18650 de 3.7V de tensão elétrica e 9900 mAh de corrente, conectadas em paralelo, o que mantém a tensão elétrica e aumenta sua duração de carga. Cabe ressaltar que todo o sistema do dispositivo necessita de uma alimentação média de 2 Volts de tensão elétrica e 2mAh para trabalhar de forma harmônica. Como as baterias são recarregáveis, é possível que o usuário do dispositivo realize a carga antes ou até mesmo durante a operação agrícola em campo, conectando o dispositivo via cabo USB a qualquer fonte de alimentação (powerbank, acendedor de cigarros da máquina agrícola ou uma tomada de energia). Ao conectar a uma fonte de energia, o módulo MT3608 faz a regulação de tensão para os parâmetros adequados ao sistema, gerenciando o módulo de carregamento de baterias TP4056, cuja função é fazer a carga constante das baterias. Essa arquitetura do dispositivo faz com que se use como alimentação em primeiro lugar a fonte externa de energia, caso exista, mantendo as baterias internas carregadas e, na falta dessa fonte externa, o sistema automaticamente passa a utilizar as baterias internas como fonte de alimentação. A Figura 22 apresenta o diagrama de circuito para o dispositivo de hardware construído, com os componentes descritos.

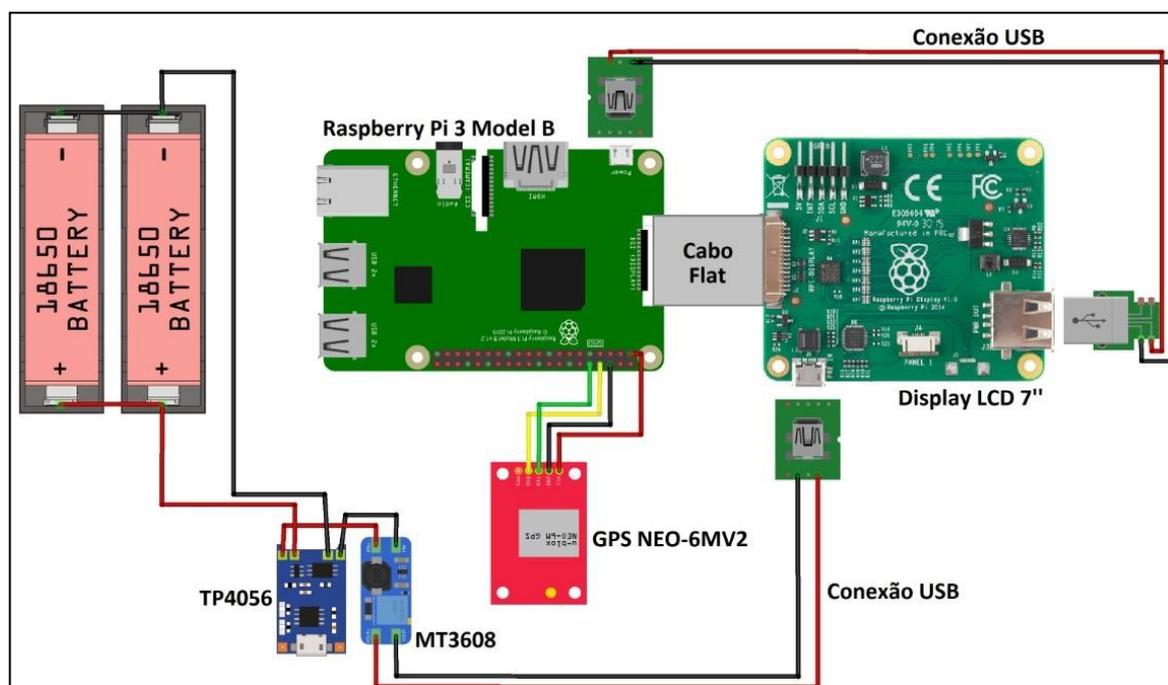


Figura 22 Diagrama de circuito do dispositivo de hardware desenvolvido para execução do ADB-Tracker.

Para proteção e manipulação de forma ergonômica do dispositivo de hardware desenvolvido, um case foi projetado com auxílio do software Blender¹³ (versão 2.80). Este software é gratuito e de código aberto, e fornece suporte para modelagem, manipulação, animação, simulação, renderização, composição e rastreamento de objetos em três dimensões (3D), além de edição de vídeos e criação de jogos. Tem uma comunidade bastante

¹³Site oficial: <https://www.blender.org/>

atuante, farta documentação, tutoriais e diversos modelos base disponíveis para uso sem custo.

O case projetado foi impresso em uma impressora 3D, marca 3DCLONER, modelo FFFSt, usando filamento do tipo ABS, que é composto com um derivado do petróleo, possuindo ótima resistência a altas temperaturas e umidade, exposição ao Sol, apresentando uma impressão final de qualidade, além da possibilidade de receber acabamento com tinta. Foram utilizados aproximadamente 350 gramas de filamento para a impressão do case, que tem dimensões aproximadas de 30 cm de largura, 15 cm de altura e 5 cm de espessura. Para esse tipo de filamento, a impressora 3D precisa trabalhar com temperatura de impressão entre 230 e 240 °C, e a temperatura da mesa de impressão precisa estar a aproximadamente 110 °C. A Figura 23a ilustra a frente do case, com a abertura para encaixe da tela touch screen de 7 polegadas, ao passo que a Figura 23b apresenta o lado de trás do case, com os pontos para uso de parafusos.

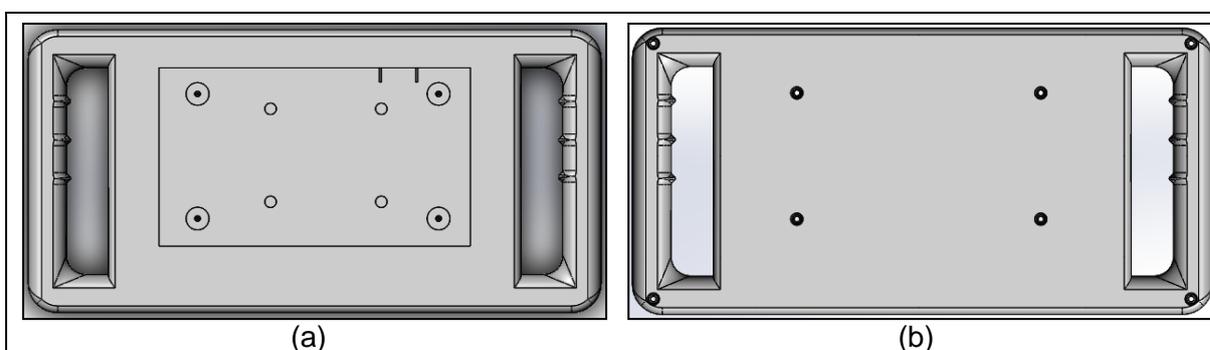


Figura 23 Case para proteção e manipulação do dispositivo de hardware projetado: Parte frontal (a) e parte posterior (b).

Com o case finalizado e os componentes devidamente acoplados internamente, o dispositivo de hardware desenvolvido ficou conforme a Figura 24.



Figura 24 O dispositivo de hardware finalizado.

O Software ADB-Tracker, conforme descrito na Subseção 5.3.2, foi desenvolvido em linguagem JavaScript com suporte do framework React Native para compilar de forma nativa para Android e/ou iOS, executando de formas idênticas em qualquer smartphone que contenha qualquer versão destes sistemas operacionais; entretanto, o dispositivo de hardware desenvolvido tem outra estrutura de hardware e sistema operacional. Entre os possíveis sistemas operacionais que ele suporta está o Raspbian¹⁴, que é composto nativamente por softwares de escritório, permite navegar na internet e possui uma grande quantidade de ferramentas de configuração do dispositivo e de desenvolvimento, facilitando a instalação de novos aplicativos. Para compilar o ADB-Tracker para o Raspbian foi preciso algumas adaptações, tanto do dispositivo de hardware quanto do próprio ADB-Tracker. Uma das mais importantes é o acesso ao GNSS, pois este é um dispositivo externo, conectado ao Raspberry via conectores GPIO, fornecendo um dado bruto ao Raspberry, e que precisa ser tratado no dispositivo.

Para obter os dados de GNSS, tratá-los e interpretá-los no ADB-Tracker, algumas rotinas (scripts) foram desenvolvidas na linguagem Python, cujo sistema operacional Raspbian fornece suporte de forma nativa, a fim de normalizar o dado para interpretação no software aplicativo (Tabela 1). Após obter o dado e extrair dele a informação de latitude e longitude para o dispositivo, foi necessária também a implementação de uma rotina específica no ADB-Tracker para ler esses dados e utilizá-los de forma análoga a quando executado via smartphone. Esse processo é realizado de forma transparente para o usuário, que não precisa solicitar a execução de forma manual em nenhum momento. A primeira das rotinas coleta o dado do módulo de GPS NEO-6MV2, decodificando dados de longitude e latitude,

¹⁴Site oficial: <https://www.raspbian.org/>

padronizando em valores positivos para coordenadas de 0 a 90° Norte e 0 a 180° Leste, e negativos para 0 a 90° Sul e 0 a 180° Oeste. A segunda rotina realiza a adequação do dado no formato universal de uso, com duas casas decimais de 0 a 90 para latitude e 0 a 180 para longitude.

Entretanto, em algum momento pode ocorrer falha na coleta de dados do GNSS. Prevendo tal situação, uma terceira rotina realiza a verificação constante do dado obtido do GNSS, checando se a informação obtida e tratada resultou em dois valores nos padrões adequados (números reais, com a parte inteira de 0 a 90 ou de 0 a 180, positivos ou negativos). Caso os dados de determinado instante sejam inválidos, uma rotina específica faz com que este seja desconsiderado (Tabela 2), reiniciando a coleta a partir daquele ponto.

Tabela 1 Rotinas em Python para obter os dados do GPS conectado via conector GPIO da Raspberry e adaptar seu formato para leitura do ADB-Tracker

```
import serial
port = "/dev/ttyS0" #Origem do dado do GPS na Pi 3
def parseGPS(data): #Cabeçalho para obter os dados
    if data[0:6] == "$GPGGA":
        s = data.split(",")
        if s[7] == '0': #caso nao haja satélite disponível
            print ("Nenhum satelitedisponível")
            return
        #retira informacoes lat e long
        lat = decode(s[2])
        dirLat = s[3] #N ou S
        lon = decode(s[4]) #W/O ou E/L
        dirLon = s[5]
        if (dirLat=='S'):
            lat = lat*-1
        if (dirLon=='W' or dirLon=='O'):
            lon = lon*-1
        #exibe no terminal as coordenadas
        print(str(lat)+" "+str(lon))
        exit() #finaliza o programa

def decode(coord): #DDDMM.MMMMM -> DD degMM.MMMMM min
    v = coord.split(".")
    head = v[0]
    tail = v[1]
    deg = head[0:-2]
    min = head[-2:]
    #conversao de DDMM.MMMMM pra DD.dddddd
    min_str = min+"."+tail
    num = float(deg) + float(min_str)/60
    return num

#analisa o que obteve do gps
ser = serial.Serial(port, baudrate = 9600, timeout = 0.5)
while True:
    data = ser.readline()
    parseGPS(data)
```

Tabela 2 Rotina em Python para reiniciar a obtenção de dados via GPS do dispositivo caso o formato não esteja compatível para o ADB-Tracker

```
import os
import time
os.system("sudokillallgpsd")
time.sleep(0.250)
```

Dessa forma, o ADB-Tracker também precisou de algumas alterações em seu código fonte, a fim de tratar situações específicas de um dispositivo de hardware especialista. Entre estas alterações estão tratamentos relativos ao tamanho e orientação da tela (formato paisagem), estrutura da interface gráfica, dados apresentados, persistência dos dados localmente e na ADB-API-Tracker, uso de bibliotecas específicas para o Raspbian, entre outros, embora o formato de operação do software e a interação com a ADB-API-Tracker sejam idênticas ao software aplicativo executado em smartphones. Devido às modificações necessárias no software ADB-Tracker para o dispositivo de hardware, essa compilação foi denominada de ADB-Tracker 2, embutida para ser executada no microcomputador Raspberry via cartão SD.

5.4 Resultados e Discussão

O protocolo de delineamento de ZMs proposto por Souza et al. (2018a) é o resultado de vários anos de pesquisa e desenvolvimento associados a esta linha de trabalho dentro da AP, de forma que o software SDUM já automatizava uma parte desse processo com o que se tinha de tecnologia de ponta no momento de sua concepção. Com a evolução tecnológica, principalmente visando acesso facilitado e independente de computadores fixos, armazenamento em nuvem, necessidade de serviços serem desenvolvidos e utilizados sob demanda, bem como a incorporação de novas técnicas dentro do processo de delineamento de ZMS, houve a necessidade da migração total do SDUM para uma plataforma condizente com essa realidade, surgindo, assim, a plataforma AgDataBox (ADB). A ADB foi proposta para ser uma plataforma de serviços web, contribuindo com a evolução da AD, composta de um banco de dados e rotinas principais centralizadas em uma API, tendo seus softwares aplicativos como serviços que enviam e consomem dados dessa API através da internet e por meio de um protocolo de comunicação definido entre as partes.

Essa arquitetura de desenvolvimento permite a escalabilidade da plataforma ADB, possibilitando que módulos sejam construídos com diferentes tecnologias de desenvolvimento de software e posteriormente integrados. Dessa forma, a plataforma ADB conseguirá integrar as funcionalidades para interpolação de dados, seleção de variáveis e métodos de agrupamento que foram desenvolvidos em módulos individuais e desconectados, disponibilizá-los como serviços web, para serem consumidos por softwares de terceiros, permitir fazer a importação e exportação de dados e possibilitar a fácil integração de novos serviços web que venham a ser desenvolvidos.

Essa arquitetura de desenvolvimento tem ganhado bastante destaque nos anos mais recentes, dada a facilidade que permite com que novos serviços possam ser incorporados, mesmo se desenvolvidos com diferentes tecnologias ou linguagens de programação, para diferentes sistemas operacionais ou dispositivos finais, e também por permitir que seja

realizada a manutenção de qualquer parte da plataforma de forma independente, sem afetar em nada outros softwares.

Seguindo essa linha de desenvolvimento de software, para um mesmo domínio de aplicação – ZMs na AP, e utilizando-se de estrutura similar, este trabalho apresentou uma plataforma similar à ADB em arquitetura e funcionamento, sendo a API denominada de ADB-API-Tracker, e o software aplicativo que fornece e consome dados dela, denominado ADB-Tracker. Os nomes são propositalmente similares, pois quando a ADB estiver plenamente disponível – principalmente o módulo ADB-Map, a ADB-API e a ADB-API-Tracker serão fundidas, unindo os respectivos bancos de dados e padronizando os arquivos JSON para comunicação de ambas com seus softwares aplicativos e entre si.

Cabe destacar, entretanto, que a ADB-API-Tracker não exige que os shapefiles sejam gerados exclusivamente pelo futuro módulo ADB-Map. Ela é uma plataforma isolada de software, podendo trabalhar com arquivos shapes gerados por qualquer outro software de AP ou diretamente de algum banco de dados que contenha os respectivos dados geométricos de ZMs, desde que estejam disponíveis as três layers de informações (arquivo.SHP, arquivo.DBF, e arquivo.SHX), algo comum neste domínio.

Para que haja a incorporação da ADB-API-Tracker com a ADB-API, serão necessárias poucas modificações no banco de dados da ADB-API, sendo as principais a inclusão dos novos tipos de dados que somente a ADB-API-Tracker contempla e faz uso. Essa incorporação deve ocorrer de forma harmônica, haja vista que o banco de dados utilizado em ambas é o mesmo, desde a versão até suas extensões. Deverão também ser fundidas as rotinas respectivas de cada uma, para que os processos isolados das duas APIs sejam contemplados, e configurados para serem reconhecidos os respectivos arquivos de comunicação de dados (JSON) de cada uma.

É importante ressaltar que, quando incorporar ADB-API-Tracker e ADB-API, não deverá haver resistência para o usuário final, pois o acesso dele aos dados e rotinas de ambas é feito sempre pelos softwares aplicativos e sem sua intervenção quanto a comunicação do dispositivo cliente com os dados e rotinas das APIs, hospedadas em um servidor qualquer, isto é, o usuário não saberá em que momento estará interagindo com qual parte da API, pois sua autenticação e seus dados particulares serão acessíveis em uma mesma base de dados.

Com a finalidade de prover uma interface administrativa e de forma amigável a qualquer usuário da ADB-API-Tracker, foi desenvolvido um software front-end, no formato de página web, na qual é possível fazer a gestão de usuários e de shapefiles, além de visualizar relatórios gerados pelas rotinas específicas da ADB-API-Tracker das operações agrícolas realizadas em campo e já persistidas no banco de dados online.

Para prover e consumir dados da ADB-API-Tracker foi desenvolvido o software aplicativo ADB-Tracker. Este software poderá ser executado em qualquer modelo de smartphone, rodando qualquer versão de sistema operacional Android e/ou iOS, com poucos

comandos e de forma intuitiva, mesmo para quem esteja utilizando pela primeira vez. O usuário só poderá ter acesso às funcionalidades do ADB-Tracker se estiver previamente cadastrado no banco de dados da ADB-API-Tracker pela interface gráfica de cadastro de novos usuários. Futuramente, após a integração da ADB-API-Tracker com a ADB-API, esse acesso será único, tanto para quem foi cadastrado via interface web na ADB-API-Tracker quanto quem foi cadastrado via interface web da ADB-API, haja vista que o banco de dados e regras de autenticação são os mesmos.

Foi também projetado e desenvolvido um dispositivo de hardware com componentes livres e de baixo custo, a fim de mitigar a dependência do ADB-Tracker com smartphones específicos ou determinadas versões de sistemas operacionais a fim de que qualquer produtor rural possa ter acesso. Esse dispositivo exigiu algumas personalizações do software ADB-Tracker para que seu funcionamento ocorresse de forma análoga à quando executado em um dispositivo móvel particular. Todo acesso aos shapefiles, processamento durante uma operação agrícola e persistência dos dados, tanto localmente quanto no banco de dados da API, são feitas de forma idêntica ao software quando executado em um smartphone qualquer, não exigindo treinamento diferenciado por parte do operador para seu uso.

Esse dispositivo apresenta também uma vantagem sobre smartphones, que é ter um módulo de GNSS com uma antena potente, sendo mais preciso na geolocalização do que as antenas e o respectivo tratamento dos dados de GNSS de smartphones. Outra vantagem é que o RaspberryPi 3 – microcomputador utilizado neste dispositivo, tem conexão GPIO de 40 pinos, podendo ter incorporados a ele outros tipos de sensores, tais como de umidade relativa do ar e velocidade do vento. A leitura de dados por sensores em tempo real no local exato durante uma operação agrícola poderá aprimorar a experiência das técnicas da AP ao fornecer recomendações agronômicas em tempo real e sobre as ZMs. Cabe ressaltar que a versão atual do ADB-Tracker 2, específica para o dispositivo aqui proposto, não contempla o tratamento de dados por outros tipos de sensores.

Outra característica do dispositivo de hardware desenvolvido é que se faz necessário aguardar aproximadamente 2 minutos após iniciar a execução do software ADB-Tracker 2, para que a leitura de dados de geolocalização pelo GNSS iniciem e sejam sincronizadas, destacando que condições meteorológicas desfavoráveis podem aumentar esse tempo. Entretanto, a perda de pontos aleatórios de GNSS durante uma operação agrícola, seja pelo smartphone ou pelo dispositivo desenvolvido, não é um fator limitante, haja vista que o rastreamento da operação gerado pelo deslocamento da máquina e seu respectivo implemento agrícola é feito com a junção de pontos válidos coletados do GNSS, somando os extremos do respectivo implemento agrícola conforme configuração pelo operador antes de iniciar a operação, formando, assim, as áreas geométricas cobertas pela passagem da máquina. Desta forma, não havendo a perda de sinal de GNSS por muito tempo consecutivo, o funcionamento do ADB-Tracker não é afetado.

Cabe ressaltar que não há alteração dos dados em seu formato bruto de armazenamento no banco de dados da ADB-API-Tracker por nenhuma das rotinas implementadas, sendo que as informações geradas por tais rotinas sobre os dados enviados pelo ADB-Tracker são armazenadas em campos próprios do mesmo banco de dados. Este cuidado foi tomado para que outros serviços implementados futuramente possam utilizar os dados já coletados e persistidos no banco de dados, bem como para a implementação de rotinas específicas para a mineração de dados, as quais precisam tratar os dados em sua forma coletada.

5.5 Conclusões

O projeto e o desenvolvimento da ADB-API-Tracker e do ADB-Tracker, acrescidos do dispositivo de hardware dedicado e sua versão própria do ADB-Tracker, vêm preencher uma lacuna até então em aberto da plataforma ADB, que era a exportação das ZMs e seu real uso pelos produtores rurais em campo, consolidando, assim, ZMs como uma efetiva alternativa ao uso da AP por pequenos produtores.

Somando-se metodologias, processos e ferramentas já desenvolvidos neste contexto com as apresentadas neste trabalho e as que estão em desenvolvimento, pode-se afirmar que a ADB se apresenta como a mais completa plataforma de AD aplicada à AP, abordando desde os processos iniciais para o delineamento das ZMs até sua utilização por produtores rurais em campo, com uso do ADB-Tracker.

5.6 Referências

- ALBORNOZ, E. M.; KEMERER, A. C.; GALARZA, R.; MASTAGLIA, N.; MELCHIORI, R.; MARTÍNEZ, C. E. Development and evaluation of an automatic software for management zone delineation. **Precision Agriculture**, v. 19, n. 3, p. 463-476, 2018.
- BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; NÓBREGA, L. H. P.; ROCHA, D. M. Management zones definition using soil chemical and physical attributes in a soybean area. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 5, p. 952-964, 2013.
- BETZEK, N. M.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; SCHENATTO, K.; GAVIOLI, A. Rectification methods for optimization of management zones. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 146, n. 1, p. 1-11, 2018.
- BLACKMORE, S. The interpretation of trends from multiple yield maps. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 26, n. 1, p. 37-51, 2000.
- BRONSON, K. Digitization and Big Data in Food Security and Sustainability. **Reference Module in Food Science**. Elsevier, 2018. 8 p. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965224621#bib1>>. Acesso em 22 set. 2018.
- CARVALHO, P. S. M.; FRANCO, L. B.; SILVA, S. A.; SODRÉ, G. A.; QUEIROZ, D. M.; LIMA, J. S. S. Cacao Crop Management Zones Determination Based on Soil Properties and Crop Yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, p. 1-17, 2016.
- CASTRIGNANÒ, A.; BUTTAFUOCO, G.; QUARTO, R.; PARISI, D.; VISCARRA ROSSEL, R. A.; TERRIBILE, F.; LANGELLA, G.; VENEZIA, A. A geostatistical sensor data fusion approach for delineating homogeneous management zones in Precision Agriculture. **CATENA**, v. 167, n. 1, p. 293-304, 2018.
- CHANG, D.; ZHANG, J.; ZHU, L.; GE, S. H.; LI, P. Y.; LIU, G. S. Delineation of management zones using an active canopy sensor for a tobacco field. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 109, p. 172-178, 2014.
- CID-GARCIA, N. M.; BRAVO-LOZANO, A. G.; RIOS-SOLIS, Y. A. A crop planning and realtime irrigation method based on site-specific management zones and linear programming. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 107, p. 20-28, 2014.
- COLAÇO, A. F.; POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; ROMANELLI, T. L. Energy assessment for variable rate nitrogen application. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, v. 14, n. 3, p. 85-90, 2012.
- CÓRDOBA, M.; BRUNO, C.; COSTA, J. L.; PERALTA, N. R.; BALZARINI, M. Protocol for multivariate homogeneous zone delineation in precision agriculture. **Biosystems Engineering**, London, v. 143, n. 1, p. 95-107, 2016.
- EL-SHARKAWY, M. M.; SHETA, A. S.; EL-WAHED, M. S. A.; ARAFAT, S. M.; EL-BEHIERY, O. M. Precision Agriculture using Remote Sensing and GIS for Peanut Crop Production in Arid Land. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 58, n. 8, p. 1246-1266, 2016.
- FONTANA, F. S. **Definição de zonas de manejo utilizando algoritmo de agrupamento Fuzzy C-Means com variadas métricas de distâncias**. 2017. 71f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

FRAISSE, C. W.; SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R. Delineation of site-specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity. **International Journal of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 44, n. 1, p. 155-166, 2001.

GAVIOLI, A. **Módulos computacionais para seleção de variáveis e análise de agrupamento para definição de zonas de manejo**. 2017. 122f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

HEDLEY, C. The role of precision agriculture for improved nutrient management on farms. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n.1, p.12-19. 2015.

KHOSLA, R.; INMAN, D.G.; WESTFALL, R.; RIECH, W. M.; FRASIER, M.; MZUKU, B. A synthesis of multi-disciplinary research in precision agriculture: Site-specific management zones in the semi-arid Western Great Plains of the USA. **Precision Agriculture**, n. 9. n. 2, p. 85-100, 2008.

LEROUX, C.; JONES, H.; PICHON, L.; GUILLAUME, S.; LAMOUR, J.; TAYLOR, J.; NAUD, O.; CRESTEY, T.; LABLEE, J.; TISSEYRE, B. Geofis: an open source, decision-support tool for precision agriculture data. **Agriculture**, v. 8, n. 6, p. 14-21, 2018.

LOWRANCE, C.; FOUNTAS, S.; LIAKOS, V.; VELLIDIS, G. EZZone – An Online Tool for Delineating Management Zones. In: 13th International Conference on Precision Agriculture, 2016, St. Louis, Missouri. **Proceedings** [...]. Monticello, IL: International Society of Precision Agriculture, 2016.

MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A.; ESCOLÀ, A.; ARNÓ, J. Use of Farmer Knowledge in the Delineation of Potential Management Zones in Precision Agriculture: a Case Study in Maize (*Zea mays* L.). **Agriculture**, v. 8, n. 6, p. 1-18, 2018.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. **FuzME version 3**. Australian Centre for Precision Agriculture, The University of Sydney, 2002. Disponível em <http://sydney.edu.au/agriculture/acpa/software/fuzme.shtml>. Acesso em 24 jun. 2018.

MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 90-101, 2011.

MONDO, H. V. V.; GOMES JUNIOR, F. G.; PINTO, T. L. F.; MARCHI, J. L.; MOTOMIYA A. V. A.; MOLIN, J. P.; CICERO, S. M. Spatial variability of soil fertility and its relationship with seed physiological potential in a soybean production area. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 2, p. 193-201, 2012.

MORAL, F. J.; TERRÓN, J. M.; REBOLLO, F. J. Site-specific management zones based on the Rasch model and geostatistical techniques. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 75, p. 223-230, 2011.

MORAL, F. J.; TERRÓN, J. M.; SILVA, J. R. M. Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. **Soil and Tillage Research**, v. 106, n. 2, p. 335-343, 2010.

PERALTA, N. R.; COSTA, J. L.; BALZARINI, M.; FRANCO, M. C.; CÓRDOBA, M.; BULLOCK, D. Delineation of management zones to improve nitrogen management of wheat. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 110, n. 1, p. 103-113, 2015.

REZA, S. K.; SARKAR, D.; DARUAH, U.; DAS, T. H. Evaluation and comparison of ordinary kriging and inverse distance weighting methods for prediction of spatial variability of some chemical parameters of Dhalai district, Tripura. **Agropedology**, v. 20, n. 1, p. 38-48, 2010.

SALEH, A.; BELAL, A. A. Delineation of site-specific management zones by fuzzy clustering of soil and topographic attributes: a case study of East Nile Delta, Egypt. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, **Anais** [...], v. 18, 2014.

SANTOS, R. T.; SARAIVA, A. M. A Reference Process for Management Zones Delineation in Precision Agriculture. **IEEE Latin America Transactions**, v. 13, n. 3, p. 727-738, 2015.

SCHENATTO, K. **Utilização de métodos de interpolação e agrupamento para definição de unidades de manejo em agricultura de precisão**. 2014. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014.

SCHENATTO, K.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; BETZEK, N. M.; GAVIOLI, A.; BENEDEZZI, H. M. Use of the farmer's experience variable in the generation of management zones. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 2305-2321, 2017b.

SCHENATTO, K.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; GAVIOLI, A.; BETZEK, N. M.; BENEDEZZI, H. B. Normalization of data for delineating management zones. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 143, n. 1, p. 238-248, 2017a.

SCHENATTO, K.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; GAVIOLI, A.; MICHELON, G. K. Software de Gerenciamento de Dados Agrícolas: Agdatafield_Mobile. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA (Ed.). A importância da Engenharia Agrícola para a segurança alimentar. XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – Conbea. **Anais** [...], p. 1-10, Jaboticabal, 2017c.

SCHEPERS, A. R.; SHANAHAN, F. J.; LIEBIG, M. A.; SCHEPERS, J. S.; JOHNSON, S. H.; LUCHIARI, J. A. Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years. **Agronomy Journal**, v. 96, n. 1, p. 195-203, 2004.

SHEN, S.; BASIST, A.; HOWARD, A. Structure of a Digital Agriculture System and Agricultural Risks Due to Climate Changes. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 1, n. 1, p. 42-51, 2010.

SOUZA, E. G.; SCHENATTO, K.; BAZZI, C. L. Creating thematic maps and management zones for agriculture fields. In: International Conference on Precision Agriculture, 14. ed.; 2018, Montreal. **Anais** [...] Montreal: ICPA Press, 2018. 1 CD-ROM.

SOUZA, E. G.; SOBJAK, R.; BAZZI, C. Plataforma web AgDataBox de integração de dados, softwares, procedimentos e metodologias para Agricultura Digital. 2018. 54f. Projeto de Pesquisa – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Cascavel, 2018.

WOLFERT, S.; GE, L.; VERDOUW, C.; BOGAARDT, M. Big data in smart farming: a review. **Agricultural Systems**, v. 153, n. 1, p. 69-80, 2017.

XIN-ZHONG, W.; GUO-SHUN, L.; HONG-CHAO, H.; ZHEN-HAI, W.; QING-HUA, L.; XU-FENG, L.; WI-HONG, H.; YAN-TAO, L. Determination of management zones for a tobacco Field based on soil fertility. **Computers and electronics in agriculture**, Amsterdam, v. 65, p. 168-175, 2009.

YAN, L.; ZHOU, S.; FENG, L.; HONG-YI, L. Delineation of site-specific management zones using fuzzy clustering analysis in a coastal saline land. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 56, p.174-186, 2007.

ZHANG, X.; SHI, L.; JIA, X.; SEIELSTAD, G.; HELGASON, C. Zone mapping application for precision-farming: a decision support tool for variable rate application. **Precision Agriculture**, v. 11, n. 2, p. 103-114, 2010.

6. ARTIGO 2 – VALIDAÇÃO DA PLATAFORMA ADB-TRACKER NA PERSPECTIVA DE TESTE DE ACEITAÇÃO DO USUÁRIO

Resumo. O crescimento do agronegócio tem sido reflexo dos investimentos realizados visando aumentar a eficiência produtiva e reduzir os custos de produção. Nestes investimentos estão inseridos os sistemas computacionais e os dispositivos de eletrônica embarcada utilizados nas várias etapas da produção agrícola. Esta evolução tecnológica propicia uma tomada de decisão mais rápida e precisa, principalmente no contexto da Agricultura de Precisão (AP), que tem sido viabilizada para pequenos produtores por meio da divisão de áreas agrícolas em zonas de manejo (ZMs), barateando sua implantação. Para definir ZMs se empregam métodos empíricos ou de agrupamento, em geral assistidos via software. Entretanto, softwares e hardwares utilizados neste segmento geralmente são proprietários e desenvolvidos a partir de tecnologias específicas, o que pode inviabilizar seu uso por pequenos produtores. Deste modo, a fim de viabilizar o processo de navegação em ZMs durante operações agrícolas foi proposta a plataforma ADB-Tracker, composta de um software aplicativo para usuários em campo com o mesmo nome, e um software servidor que armazena dados, realiza rotinas e fornece relatórios sobre as operações agrícolas realizadas, denominado ADB-API-Tracker. Esse software aplicativo foi implementado visando escalabilidade, baixo custo, portabilidade e praticidade de uso, tendo como objetivo central a orientação do produtor na navegação por ZMs para qualquer operação agrícola, a partir de shapefiles de ZMs gerados pelo SDUM, pelo ADB-Map ou qualquer outro software com este propósito. Este artigo apresenta o processo de validação desta plataforma na perspectiva de teste de aceitação do usuário, destacando pontos fortes e fragilidades da plataforma ADB-Tracker.

Palavras-chave: Agricultura de precisão, agricultura digital, software, navegação, teste de validação.

VALIDATION OF THE ADB-TRACKER PLATFORM IN THE PERSPECTIVE OF USER ACCEPTANCE TEST

Abstract. The growth of agribusiness has been a reflection of investments made to increase production efficiency and reduce production costs. These investments include computer systems and embedded electronics devices used in the various stages of agricultural production. This technological evolution leads to faster and more accurate decision making, especially in the context of Precision Agriculture (AP), which has been made feasible for small producers by dividing agricultural areas into management zones (ZMs), reducing their implementation. For the definition of ZMs, empirical or grouping methods are employed, generally assisted by software. However, software and hardware used in this segment are usually proprietary and developed from specific technology, which may prevent their use by small producers. Thus, in order to enable the process of navigation in ZMs during agricultural operations, the ADB-Tracker platform, composed of an application software for field users with the same name, and a server software which stores data, performs routines, and provides reports on agricultural operations carried out, known as ADB-API-Tracker, was employed. This application software was implemented aiming at scalability, low cost, portability, and practicality of use, having as central objective the orientation of the producer in the navigation by ZMs for any agricultural operation, from shapefiles of ZMs generated by SDUM, ADB-Map, or any other software for this purpose. This article presents the validation process of this platform in the perspective of user acceptance testing, highlighting the strengths and weaknesses of the ADB-Tracker platform.

Keywords: Precision agriculture, digital agriculture, software, navigation, validation test.

6.1 Introdução

O Brasil é detentor de um cenário bastante favorável no que tange à produção agrícola, especialmente em culturas de grãos, o que vem sendo ratificado de maneira contínua pelos índices recordes de produção. Mesmo favoráveis, tais índices ainda podem ser melhorados, pois a produtividade se limita pela baixa fertilidade do solo, causada tanto por fatores naturais quanto pela ação humana, tendo como consequência a deficiência e a variabilidade espacial dos atributos químicos dos solos cultivados (GONTIJO et al., 2012), sendo necessário um correto manejo do solo para minimizar suas deficiências (BURAK; PASSOS; ANDRADE, 2012).

Esse cenário favorável quanto à produção agrícola é também reflexo da associação de máquinas e implementos agrícolas com tecnologias embarcadas, que cada vez mais são utilizadas nas diversas operações agrícolas, exigindo maior conhecimento técnico e capacitação operacional daqueles que as manipulam. Além de conhecimento das tecnologias utilizadas em campo, se faz necessária também certa proficiência em áreas diversas, tais como a informática. Aplicativos computacionais (softwares) têm sido cada vez mais utilizados nos procedimentos relativos a safras agrícolas, desde a fase de análise de amostras de solo para recomendações de manejo antes do plantio, passando pelas etapas da colheita, estando presentes também nas etapas pós-colheita. A preocupação com questões ambientais e financeiras ratifica a crescente necessidade de utilização de diversos artefatos tecnológicos no ramo agrícola, que proveem planejamento e gerenciamento das áreas agrícolas, relacionando dados relativos aos atributos químicos e de relevo do solo, bem como dados de rendimento dos talhões, a fim de auxiliar a tomada de decisões (SOUZA et al., 2010). É neste íterim que se inserem a Agricultura de Precisão (AP) e a Agricultura Digital (AD).

A AP utiliza um conjunto de tecnologias que objetivam auxiliar o produtor no gerenciamento da variabilidade do solo existente em suas áreas cultiváveis e na adoção de melhores práticas para o manejo, visando maior produtividade e redução de custos na aplicação de insumos (FERRAZ et al., 2012). Já a AD utiliza das tecnologias associadas à AP agregadas a redes inteligentes e ferramentas de gerenciamento de dados, provendo a utilização de todas as informações disponíveis que permitam a automação de processos sustentáveis na agricultura. A constante evolução nestas duas áreas e sua aplicação no setor agrícola têm sido notórias nos últimos anos, alavancadas pelo aumento e a disponibilidade de sensores, atuadores e microprocessadores, redes de comunicação, armazenamento e processamento em nuvem e BigData. Dessa forma, o fluxo de informações não se restringe apenas a equipamentos agrícolas de difícil acesso, mas engloba também novos serviços oferecidos com base em algoritmos que transformam dados em informações (CEMA, 2017).

Embora a AP e a AD reflitam um real crescimento há alguns anos, as tecnologias desenvolvidas ainda são pouco empregadas por produtores de menor porte devido ao alto

custo de implantação e manutenção envolvidos, em geral decorrentes de máquinas e equipamentos com sensores e softwares específicos, necessidade de utilização de densas grades amostrais ou de profissionais com expertise para análise dos dados coletados. Neste contexto se inserem as Zonas de Manejo (ZMs) como uma das possibilidades para viabilizar economicamente a aplicação da AP, viabilizando o uso dos mesmos sistemas utilizados na agricultura convencional (BAZZI et al., 2013; FERRAZ et al., 2012).

As ZMs podem ser delineadas a partir da produtividade, atributos físicos e químicos do solo, condutividade elétrica, características topográficas, ou ainda uma combinação destas, sendo, assim, sub-regiões do talhão produtivo que expressam uma combinação funcionalmente homogênea de fatores limitantes à produção para os quais uma taxa uniforme de insumos é apropriada (DOERGE, 2000). Com a definição de ZMs, é possível aplicar doses uniformes de insumos internamente a cada sub-região, tal como aplicar tratamentos diferenciados entre as ZMs geradas com os mesmos equipamentos da agricultura convencional (RODRIGUES JUNIOR et al., 2011; FLEMING; HEERMANN; WESTFALL, 2004).

Como a quantidade de variáveis, bem como a densidade dos dados coletados em campo é grande, faz-se necessário o uso de softwares para organização e processamento dos dados, visando delinear as ZMs. Tais softwares permitem armazenamento, manipulação, análise e visualização dos resultados por meio de mapas digitais, proporcionando melhor interpretação, auxiliando na tomada de decisão, redução dos custos e otimização de recursos, possibilitando maior produtividade e maximização dos lucros (NESI et al., 2013). Dessa forma, o uso da Tecnologia da Informação (TI) na coleta, manipulação e apresentação de dados agrícolas é fundamental e, se utilizada de forma adequada, auxilia na tomada de decisão na direção de produzir mais em uma mesma área, bem como realizar o correto gerenciamento dos recursos naturais. Softwares e dispositivos especialistas têm sido desenvolvidos para aprimorar o desenvolvimento da AP (EL-SHARKAWY et al., 2016), endossando o conceito de Agricultura Digital (AD) (SHEN; BASIST; HOWARD, 2010), que, na prática, é a junção da AP com a automação (via software e hardware) e o gerenciamento de BigData (grande volume de dados coletados), compondo, assim, os principais artefatos digitais responsáveis pelas transformações tecnológicas na agricultura nos últimos anos (BRONSON, 2018), auxiliando de forma direta no delineamento e na utilização de ZMs.

Assim, neste contexto de AP e AD e, especificamente objetivando realizar o delineamento de ZMs, Bazzi et al. (2013) propuseram um software denominado de SDUM (Software para Definição de Unidades de Manejo), o qual teve como motivação maior a necessidade da utilização de um software capaz de determinar e também avaliar ZMs de forma amigável, aproximando esta tecnologia de pequenos produtores. O SDUM é um software gratuito, estando disponível tanto para a comunidade acadêmica quanto aos produtores interessados, e foi desenvolvido em linguagem JAVA com o Sistema Gerenciador

de Banco de Dados (SGBD) PostgreSQL, tecnologias livres e gratuitas. Tanto a linguagem JAVA quanto o SGBD PostgreSQL têm características de flexibilidade, suporte e escalabilidade, atributos essenciais para o projeto em que o SDUM se insere. Apesar da boa aceitação do SDUM pelos pesquisadores e produtores, optou-se por migrar o SDUM para uma plataforma web, aprimorando-o em várias frentes, passando a ser denominado por AgDataBox – ADB.

A plataforma AgDataBox (ADB) é especialista no processo de delineamento de ZMs, e disponibiliza ferramentas computacionais gratuitas para produtores rurais, pesquisadores e prestadores de serviços, por meio da integração de dados, softwares, procedimentos, metodologias, portais e dispositivos físicos. Essa plataforma é composta de um software denominado AgDataBox-API (ADB-API) – registrado no INPI (BR 512018000899-2), cuja atribuição é centralizar e compartilhar dados e rotinas de processamento via web com outros softwares aplicativos que fornecem e consomem dados desta.

Entre as funcionalidades que compõem a plataforma ADB está o AgDataBoxMap (ADB-Map), que disponibiliza técnicas implementadas relativas a importação e exportação de dados, análise e filtragem de dados, normalização de dados, interpolação de dados, bem como delineamento e avaliação de ZMs, geração e exportação de mapas de aplicação, métodos de otimização de amostragem em função de sua localização visando a instalação de sensores. Na arquitetura de desenvolvimento do ADB-Map, as funcionalidades são módulos individuais, compostos por um back-end com os respectivos algoritmos e regras de negócio, e um front-end, que é a interface de interação com o usuário. Várias destas metodologias e seus respectivos algoritmos que serão integrados ao ADB-Map já estão desenvolvidos (BETZEK et al., 2018; GAVIOLI, 2017; SCHENATTO et al., 2017b, SCHENATTO, 2017a; FONTANA, 2017; SCHENATTO, 2014), e outros estão em fases de elicitação e análise de requisitos para posterior desenvolvimento.

De forma paralela, mas análoga à plataforma ADB, foi desenvolvida a ADB-Tracker, uma plataforma composta por um software portal de dados de operações agrícolas em formato de Interface de Programação de Aplicações (API – Application Programming Interface), denominado de ADB-API-Tracker (back-end), que armazena tanto shapefiles e seus respectivos dados relativos a ZMs já delineadas, sejam eles provenientes do ADB-Map ou não, gerencia dados de usuários e executa rotinas relativas às operações realizadas em campo. Também compõe essa plataforma um software aplicativo para smartphones (Android e iPhone), denominado ADB-Tracker (front-end), cuja função é possibilitar a navegação do operador em tempo real e de forma interativa com auxílio do GPS pelas ZMs durante uma operação agrícola, e também consumir e persistir dados relativos a esta navegação na ADB-API-Tracker, provendo informações para auxiliar nas tomadas de decisão relativas às operações agrícolas efetuadas.

Independente da aplicação para a qual um software é proposto, uma das atividades de maior importância em seu desenvolvimento é a etapa de teste, que está diretamente ligada à qualidade do mesmo. Realizar testes em um software objetiva duas ações: (i) demonstrar que o sistema atende os requisitos para o qual foi proposto; e (ii) demonstrar que o software não se comporta de maneira incorreta, não desejável ou de forma diferente daquela para o qual foi proposto (SOMMERVILLE, 2015). Há inúmeras técnicas de teste de software, entre elas uma bastante utilizada e efetiva é o teste de aceitação do usuário (UAT – User Acceptance Testing), que visa demonstrar os recursos funcionais do software. O propósito maior desta técnica é validar o sistema para uso operacional, apregoando que uma vez cumpridos os critérios de aceitação, o software pode ser liberado para uso operacional (LEUNG; WONG, 1997).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi realizar a validação da plataforma ADB-Tracker, especificamente do software aplicativo ADB-Tracker, que é a interface de comunicação entre o operador agrícola e a ADB-API-Tracker, sob a perspectiva de Teste de Aceitação do Usuário (UAT – User Acceptance Testing), estágio final no desenvolvimento de um software antes de liberá-lo para uso operacional.

6.2 Referencial Teórico

6.2.1 Agricultura digital

Para que seja possível a implantação da Agricultura de Precisão (AP), bem como um constante monitoramento de uma área agrícola, é preciso que se tenha conhecimento detalhado desta área. Para isso, se torna fundamental o uso de ferramentas tecnológicas adequadas para coletar e apresentar informações de forma clara, a fim de que a tomada de decisão a partir de tais informações impacte positivamente naquela área produtiva de interesse, na direção de produzir mais no mesmo espaço, e realizar o correto gerenciamento dos recursos naturais. Neste ínterim surge um termo que tem cada vez mais ganhado corpo: Agricultura Digital (AD).

A Agricultura Digital (AD) é a evolução do conceito de “Terra Digital”, proposto nos anos 1990, e pode ser vista como um avanço da AP em procedimentos de produção agrícola (SHEN; BASIST; HOWARD, 2010). A AD é composta pela AP somada à automação e ao gerenciamento de BigData (grande volume de dados coletados), principais artefatos digitais responsáveis pelas transformações tecnológicas na agricultura nos últimos anos (BRONSON, 2018). Nesta abordagem, grande quantidade de dados pode ser coletada a partir de satélites, drones equipados com câmeras multiespectrais, redes de diferentes sensores sem fio, aplicativos de smartphones, softwares de computadores, dentre outros. Estes dados são armazenados em bancos de dados de computadores e, posteriormente, analisados por algoritmos especializados na extração de informações, tornando a AD uma abordagem aplicável em níveis práticos diversos.

A AP ganhou maior destaque após a difusão das tecnologias de GNSS (Global Navigation Satellite Systems), popularmente conhecida como sistema GPS (Sistema de Posicionamento Global), aliada aos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e às tecnologias de sensoriamento remoto – forma pelas quais muitos dados para uso da AP podem ser coletados de forma não invasiva. Assim, coletas de dados podem ser realizadas diretamente pelos equipamentos agrícolas instrumentados com sensores e com GPS para identificação do posicionamento geográfico daquele dado adquirido (BRONSON, 2018). Tendo sido coletados os dados, a tomada de decisão é assessorada por algoritmos computacionais aplicados aos dados, gerando informações para o correto uso de equipamentos agrícolas de precisão (WOLFERT et al., 2017).

O desafio para que a AD continue evoluindo e se torne cada vez mais acessível está em desenvolver sistemas que gerenciem os dados relevantes para o setor agrícola, que incluem desde as condições do ambiente, do solo, da planta, da produção e do mercado. Para obter informações relevantes sobre os dados coletados de forma a auxiliar o agricultor na tomada de decisão, técnicas de análise de dados e algoritmos de inteligência computacional

são necessários. O rápido desenvolvimento da AD tem sido alavancado tanto pela indústria quanto pela academia, mas têm ainda como desafio seus custos pouco atrativos, principalmente para pequenos produtores. Uma possível solução para mitigar estes custos é a definição de ZMs.

6.2.2 Zonas de Manejo

A prática da AP por meio da AD necessita do desenvolvimento e uso de sensores e equipamentos especialistas para realizar análises e aplicações de nutrientes e defensivos a taxas variadas, a fim de reduzir custos, permitir análise detalhada do solo e plantas, e melhorar o processo de produção (BAZZI et al., 2013). Entretanto, a questão econômica é um agravante para viabilizar a adoção da AP, principalmente para pequenos produtores (KHOSLA et al., 2008). Assim sendo, faz-se necessário viabilizar o acesso às tecnologias e procedimentos associados à AP para estes pequenos produtores de modo menos oneroso, contexto no qual surge a definição de Zonas de Manejo (ZMs) (SUSZEK et al., 2011).

As ZMs são sub-regiões dentro de um talhão que têm topografia e condições do solo espacialmente homogêneas (XIN-ZHONG et al., 2009; MORAL; TERRÓN; REBOLLO, 2011). Tais condições referem-se aos atributos químicos e físicos, dados topográficos, condutividade elétrica aparente do solo, índices de vegetação, bem como produtividade, gerando áreas que serão tratadas internamente como homogêneas, e tratadas de modo diferentes entre si em relação à aplicação de insumos e defensivos (MORAL; TERRÓN; SILVA, 2010; RODRIGUES JUNIOR et al., 2011). As ZMs facilitam a aplicação à taxa variada e são indicadores para amostragem do solo e da cultura, além de se apresentarem como uma alternativa viável para a AD do ponto de vista econômico (MOLIN; FAULIN, 2013).

Pode-se também utilizar das ZMs para direcionar o processo de amostragem do solo, reduzindo o número de análises necessárias na geração dos mapas temáticos utilizados na aplicação de insumos, além da variação de determinadas operações de manejo (YAN et al., 2007). Isso permite a utilização dos equipamentos já empregados na agricultura convencional, agregando os mesmos benefícios da AP sem obrigatoriamente realizar grandes investimentos, haja vista que a heterogeneidade só é considerada existente entre ZMs diferentes, o que colabora na minimização dos custos para a gestão das culturas (XIN-ZHONG, 2009; CID-GARCIA; BRAVO-LOZANO; ROIS-SOLIS, 2014).

Para realizar o processo de delineamento de ZMs de forma adequada, alguns protocolos têm sido propostos (SANTOS; SARAIVA, 2015; CÓRDOBA et al., 2016). Dentre estes, um que se destaca no delineamento de ZMs foi proposto por Souza et al. (2018), composto das seguintes etapas: (i) normalização dos dados; (ii) seleção de variáveis para delineamento das ZMs; (iii) interpolação dos dados; (iv) aplicação de métodos para delineamento de ZMs; (v) retificação das ZMs; e (vi) avaliação das ZMs. A Figura 1 apresenta

um diagrama de atividades da UML (Unified Modeling Language) com estas etapas em sua respectiva ordem, destacando em cada fase uma técnica que pode ser utilizada.

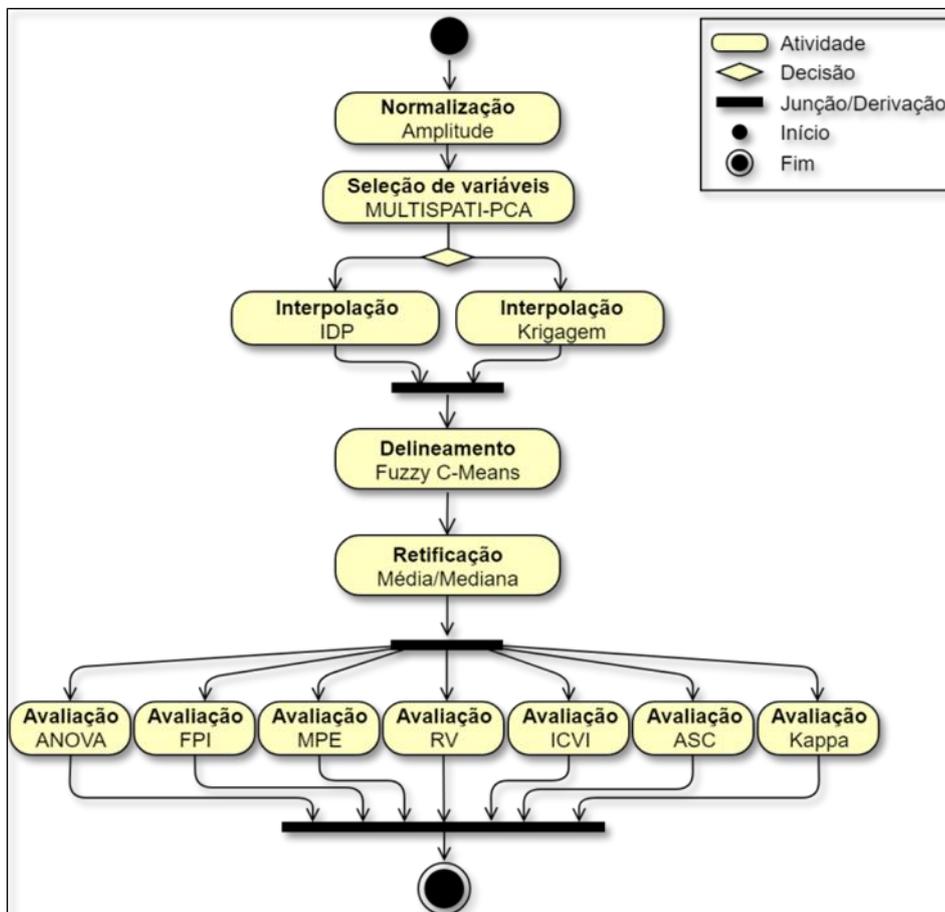


Figura 1 Diagrama de atividades da UML para o delineamento das zonas de manejo, proposto por Souza et al. (2018).

6.2.3 Requisitos em softwares para agricultura de precisão e agricultura digital

Softwares são programas de computador que devem prover funcionalidades requeridas pelo usuário com determinado desempenho, além de ser confiável, fácil de manter e de usar. A amigabilidade de um software com o usuário é essencial, bem como a redução do custo de desenvolvimento ou de uso (SOMMERVILLE, 2015). Ao desenvolver um software sua documentação é também importante, compondo o alicerce para um desenvolvimento bem-sucedido, de modo a fornecer um guia para a manutenção ou o aprimoramento deste. A geração da documentação e de modelos para um software pode ser facilitada por meio do levantamento de requisitos, etapa essencial para a análise e a modelagem do sistema computacional (PRESSMAN, 2016).

Há uma gama de softwares que oferecem suporte ao geoprocessamento e manipulação de imagens, mas, como a maioria deles não foi desenvolvida especialmente para manipular dados agrícolas, não são os mais adequados para esse fim, mesmo passando por

diversas adaptações (MURAKAMI et al., 2007).

Com o avanço da tecnologia (tanto de software quanto de hardware) houve grande aumento no acesso a dispositivos computacionais e à Internet, facilitando a coleta e a manipulação de dados, gerando também avanço na AP, que depende de uma exaustiva quantidade de dados para realizar o gerenciamento de uma propriedade. Ainda assim, a aquisição e a análise de dados continua sendo um trabalho oneroso, haja vista que estes são gerados a partir de fontes que raramente são interligadas (SORENSEN et al., 2010).

Deste modo, um sistema computacional desenvolvido especificamente para o gerenciamento de propriedades agrícolas tem como principais requisitos: (a) um projeto que atenda às necessidades dos agricultores; (b) uma interface gráfica intuitiva; (c) apresentação de métodos de processamento dos dados automatizados; (d) uma interface que permita o acesso à funções de processamento e análise de forma fácil; (e) a integração de conhecimento do usuário; (f) comunicação com outros softwares; (g) escalabilidade; e (h) acessibilidade financeira (MURAKAMI et al., 2007).

6.2.4 Softwares para definição de ZMs

É possível definir ZMs por meio da combinação de softwares que automatizem as técnicas associadas aos passos necessários para tal. Nesse sentido, uma maneira de realizar a definição de ZMs seria obter as análises geoestatísticas dos atributos do solo através do software VESPER¹⁵, a fim de obter os semivariogramas necessários para a interpolação dos dados, que devem ser realizados por alguma técnica associada com suporte do software R¹⁶, por exemplo. A partir das interpolações geradas, é possível estabelecer as classes de interpretação para cada atributo e gerar os mapas no formato raster. Estes, por sua vez, devem ser convertidos para o formato vetorial no software ArcGIS¹⁷. Após isso, no ambiente SPRING¹⁸ os dados devem ser convertidos para o formato matricial, para só então realizar os cruzamentos dos mapas, tendo finalmente as ZMs definidas, mas sem avaliação com objetivo de validá-las. Nota-se neste processo como este é um trabalho oneroso e de difícil acesso por um produtor rural, apesar de ser uma maneira para a geração de ZMs.

Para automatizar essa sequência de passos, ou parte dela, facilitando o processo de definição de ZMs, algumas soluções têm sido propostas ao longo dos últimos anos. Um deles é o FuzME (MINASNY; MCBRATNEY, 2002). Este software, desenvolvido na linguagem de programação FORTRAN, não é especializado na execução de tarefas de um protocolo para geração de ZMs, entretanto automatiza algumas etapas ao prover o agrupamento de dados multivariados utilizando o algoritmo FCM (fuzzy C-means). Entretanto, as etapas de pré e pós-

¹⁵ Disponível em: <http://sydney.edu.au/agriculture/pal/software/vesper.shtml>

¹⁶ Disponível em: <https://www.r-project.org/>

¹⁷ Disponível em: <https://www.arcgis.com>

¹⁸ Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/index.html>

processamento devem ser realizadas em outros softwares.

Para viabilizar toda a definição de ZMs em um único software, FRIDGEN et al. (2004) propuseram o Management Zone Analyst (MZA). Este software é gratuito, porém foi desenvolvido com tecnologia proprietária e tem seu código fechado, além de estar em uma versão com poucos recursos, não agregando técnicas mais atuais para a definição de ZMs, haja vista que foi descontinuado (sua última versão foi lançada há mais de 10 anos).

Já Bazzi et al. (2013) desenvolveram um software com objetivo de definição e avaliação de ZMs, denominado de SDUM (Software para Definição de Unidades de Manejo). A motivação para tal foi a necessidade da utilização de um software capaz de determinar e também avaliar ZMs de forma amigável, aproximando esta tecnologia dos pequenos produtores. O SDUM é um software gratuito e atende a necessidade de automatizar a geração e a avaliação de ZMs de forma rápida e amigável, estando disponível tanto para a comunidade acadêmica quanto aos produtores interessados. Este software foi desenvolvido em linguagem JAVA com o Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) PostgreSQL, podendo ser executado sobre qualquer sistema operacional. Tanto a linguagem JAVA quanto o SGBD PostgreSQL têm características de flexibilidade, suporte e escalabilidade.

Com a boa aceitação do SDUM por pesquisadores e produtores, houve a necessidade deste em evoluir para uma plataforma web, sendo denominado a partir de então como AgDataBox (ADB), com a inclusão de novos módulos e funcionalidades, permanecendo livre. A plataforma ADB fornece ferramentas computacionais gratuitas para produtores rurais, pesquisadores e prestadores de serviços focados na AP, por meio da integração de dados, softwares, procedimentos e metodologias.

Outro software proposto para o delineamento de ZMs foi proposto por Albornoz et al. (2017), que o desenvolveram na linguagem de programação C++, e utilizam o algoritmo Fuzzy C-Means para delinear ZMs. Seus autores o caracterizam como um software de interface amigável, focado em usuários finais, sem a necessidade de conhecimento avançado em Sistemas de Informações Geográficas (GIS) ou de habilidades estatísticas, gerando como saída os arquivos em formato de shapefile.

Outra solução voltada para a definição de ZMs é o GeoFis (LEROUX et al., 2018). O software, que é de código aberto e foi desenvolvido em linguagem de programação Java, utiliza o software R como mecanismo para a execução de rotinas, e o processo de zoneamento é realizado tendo como base um algoritmo de segmentação proposto por Pedroso et al. (2010).

6.2.5 ADB-Tracker – Uma solução para orientar a navegação em ZMs durante operações agrícolas

A ADB-Tracker é uma plataforma de software em duas camadas, que provê uma solução para orientar a navegação em ZMs durante uma operação agrícola: a primeira

camada é um portal de dados e rotinas sobre operações agrícolas em formato de Interface de Programação de Aplicações (API – Application Programming Interface), chamado de ADB-API-Tracker, que armazena shapefiles de ZMs e demais dados associados a estas; e a segunda é um software aplicativo para smartphones (Android e iPhone), chamado ADB-Tracker, que consome e persiste dados na ADB-API-Tracker, e possibilita a navegação em tempo real pelas ZMs do operador com a máquina agrícola, com auxílio do GPS, durante uma operação agrícola.

O ADB-API-Tracker deve ser hospedado em um servidor e é um software visto pelo aplicativo ADB-Tracker como um serviço web, com sua área administrativa podendo ser acessada de qualquer computador que esteja conectado à internet. É nesta camada que ficam armazenados os shapefiles, os dados de usuários e das operações, sendo que também é ela que disponibiliza e executa as rotinas para tratamento dos dados gerados em campo, fornecidos pelo ADB-Tracker, dessa forma não exigindo processamento sobre os dados no smartphone que esteja executando o software aplicativo ADB-Tracker, requisito chave em softwares desenvolvidos na perspectiva da arquitetura de serviços web.

Os arquivos shapefiles das ZMs armazenados na ADB-API-Tracker podem ser provenientes tanto do software SDUM, ou da plataforma ADB – por meio do aplicativo ADB-Map, quanto de qualquer outro software que realize o delineamento de ZMs, desde que estes arquivos contêmham as três camadas de dados padrão de um arquivo shapefile (.SHP, dados vetoriais das ZMs conforme o georreferenciamento;.DBF, atributos dos vetores do arquivo.SHP; e.SHX, camada que faz a relação entre os dados vetoriais do.SHP e os atributos armazenados no.DBF).

Durante a realização de uma operação agrícola, os dados coletados pelo ADB-Tracker são armazenados localmente no smartphone, sendo persistidos no banco de dados da ADB-API-Tracker de forma transparente para o usuário assim que a operação for finalizada e uma conexão com a internet for encontrada. O fluxo de trabalho entre os módulos front-end (ADB-Tracker) e back-end (ADB-API-Tracker) está baseado em uma interação inicial para autenticação e envio/recebimento de dados, seguida de processamentos independentes em cada lado da plataforma, e uma interação final, novamente objetivando o envio/recebimento de informações (Figura 2). O operador, em campo, tem acesso somente ao software aplicativo ADB-Tracker.

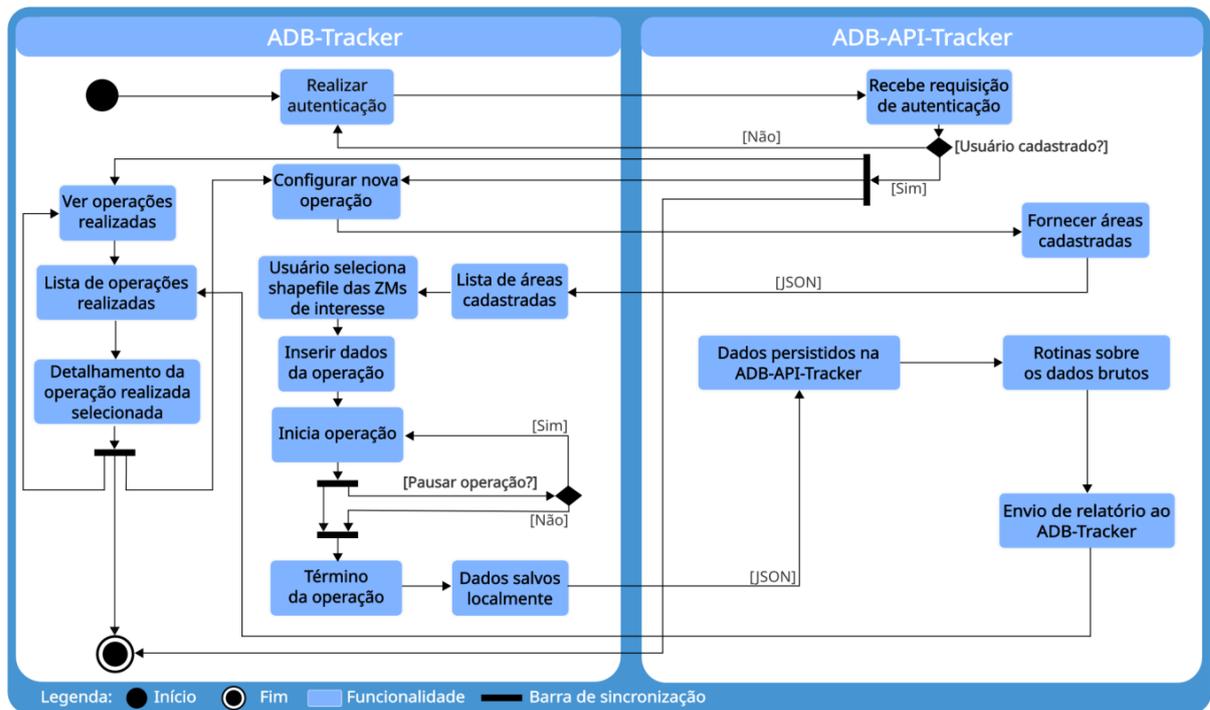


Figura 2 Diagrama de atividades da UML com o fluxo de trabalho entre o ADB-Tracker e a ADB-API-Tracker.

Após realizar a operação em campo e ter seus dados persistidos na ADB-API-Tracker, o software do lado do servidor executa as rotinas processando os dados brutos recebidos, salvando em seu banco de dados sem alterar os dados originais, e envia novamente ao ADB-Tracker o relatório com as devidas informações para acesso do operador.

6.2.6 Teste de Software

Todo software está propenso a conter falhas, que podem ocorrer por motivos diversos, tais como uma especificação de requisitos do software errada ou incompleta, ou ainda a especificação conter requisitos impossíveis de serem implementados dadas as limitações de hardware ou de software que possam existir. Mesmo com uma especificação correta, ainda assim o desenvolvimento pode estar errado ou incompleto, gerando defeitos em algum ou em vários aspectos do software (PRESSMAN, 2016).

Para mitigar tais defeitos, todo software deve passar por um processo de testes, no qual se aplicam técnicas que visam permear todas as etapas de desenvolvimento deste. Testes são ainda mais relevantes no desenvolvimento de um software quando realizados, seguindo um processo formal, na última etapa antes deste ser liberado para ser utilizado por usuários finais, correspondendo assim à fase de validação do software quanto a seu correto funcionamento, bem como aferindo se o software atende aos objetivos para os quais foi proposto (MYERS et al., 2012).

Para que uma metodologia de testes seja consistente, esta deve se embasar nas diretrizes do SWEBOOK – Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOOK,

2004). O SWEBOK é um corpo de conhecimento em engenharia de software formalmente aprovado pela IEEE Computer Society¹⁹, com diretrizes para todas as etapas do desenvolvimento de software, sendo a atual versão a 3.0. Este documento foi projetado para ser constantemente revisado e atualizado à medida que a tecnologia e a profissão de engenharia de software também se atualizam, permanecendo relevante como o principal documento da área, e referenciado pela maioria da literatura especializada neste segmento.

Há uma grande diversidade de tipos de teste de software, cada qual específico para determinada fase do processo de desenvolvimento de um software, contendo etapas e objetivos específicos (SOMMERVILLE, 2015). Dentre estes tipos de teste encontram-se os testes funcionais, que verificam aspectos relativos ao funcionamento de um software, validando se tal software de fato entrega o que dele se esperava desde sua concepção (PRESSMAN, 2016).

Entre as categorias de testes funcionais para validação de um software, há o Teste de Aceitação do Usuário (UAT – User Acceptance Test), bastante maduro e difundido na literatura especializada, e alinhado às diretrizes do SWEBOK (2004). O UAT é realizado no ambiente do usuário, isto é, em campo, e dentro de um processo controlado, sendo assim um tipo de validação de software, compreendendo a última etapa antes de o software ser considerado operacional (ALEGROTH; FELDT, 2015). Nos testes do tipo UAT, são realizadas simulações das operações rotineiras do software de modo a verificar e validar seu comportamento, e de averiguar se o software satisfaz ou não os critérios de aceitação. Ao utilizar, são notadas e devem ser relatadas as possíveis falhas ou pontos de melhoria. O processo de execução de testes do tipo UAT deve ser organizado em cinco etapas (IEEE-SWEBOK, 2019):

- Planejamento: Etapa na qual se descreve a estratégia e/ou o plano de teste, isto é, se estabelece o que vai ser testado, em que local e momento os testes ocorrerão;
- Preparação: Etapa de adequação do ambiente de testes, o que compreende equipamentos, configuração de hardware e softwares auxiliares e afins, para que os testes sejam executados conforme a etapa de planejamento preconizou;
- Especificação: Etapa na qual a atividade principal é elaborar os cenários e roteiros de testes, caso seja necessário;
- Execução: Fase na qual os testes planejados são executados e os resultados obtidos são registrados;
- Entrega: Última etapa do ciclo de execução dos testes UAT, na qual se relata as ocorrências relevantes para a melhoria do software em versões subsequentes. O processo é encerrado, arquivando a respectiva documentação gerada.

¹⁹ Disponível gratuitamente para download em: <https://www.computer.org/web/swebok>

Bourque e Fairley (2014) defendem a importância do delineamento em etapas para processos formais de validação de software, a fim de que o planejamento e a execução destes testes formais de fato validem o software desenvolvido, principalmente quando trata-se de sistemas especialistas. Nestes contextos, pode ser fundamental a presença de usuários especialistas no domínio visando uma validação mais assertiva do software desenvolvido (SWEBOK, 2004).

6.3 Materiais e métodos

6.3.1 Planejamento da Validação UAT

A primeira etapa do ciclo de execução de testes UAT para validação de um software é o planejamento desta validação. Nesta etapa, deve-se descrever o plano de teste, estabelecendo o que vai ser testado, em que local e momento os testes ocorrerão (IEEE-SWEBOK, 2019).

Conforme Murakami et al. (2007), softwares desenvolvidos para serem utilizados como domínio de aplicação o gerenciamento de propriedades agrícolas, tendo como usuários principais produtores ou trabalhadores agrícolas, devem focar em atender oito requisitos específicos, a saber:

1. O software deve atender necessidades reais de agricultores;
2. O software deve ter uma interface gráfica intuitiva;
3. O software deve apresentar métodos automatizados de processamento dos dados;
4. O software deve ter uma interface que permita o acesso às funções de processamento e análise de forma fácil;
5. O software deve permitir a integração de conhecimento do usuário;
6. O software deve permitir, se for o caso, comunicação com outros softwares;
7. O software deve prover escalabilidade;
8. O software deve ser acessível financeiramente.

Nesta etapa de planejamento do processo de validação do software ADB-Tracker a fim de validá-lo conforme as diretrizes de testes UAT, foram selecionados os requisitos 1 a 5 para serem verificados em campo no ambiente de uso dos usuários finais.

Os requisitos 6 e 7 foram descartados nesta validação UAT pois o processo de desenvolvimento do ADB-Tracker foi realizado sobre uma arquitetura de serviços web, que provê escalabilidade de forma nativa, pois quaisquer outras soluções que queiram se comunicar ou rotinas que sejam necessárias acrescentar ao ADB-Tracker podem ser desenvolvidas em qualquer linguagem de programação, para qualquer sistema operacional e para qualquer plataforma de hardware, podendo ainda serem executadas via web, mobile ou

desktop. A única exigência é que o processo de comunicação entre estas novas soluções ou rotinas ocorra no formato JSON²⁰, um padrão de comunicação entre sistemas bastante difundido, rápido e fácil de ser utilizado, não necessitando de maiores adaptações ou onerando o desempenho do ADB-Tracker.

O requisito 8 também foi descartado neste processo de validação UAT, pois o ADB-Tracker é um software gratuito, desenvolvido com ferramentas gratuitas, e com a opção de uso em plataformas gratuitas ou pagas – tanto de sistemas operacionais quanto de hardware (smartphones ou dispositivos de hardware construídos especificamente para uso do software ADB-Tracker), à escolha do usuário.

Desta forma, a condução do processo de validação UAT, ocorrida entre dezembro de 2018 e janeiro de 2019, aferiu os requisitos 1 a 5 de Murakami et al. (2007), adaptando-os para possibilitar que fossem aferidos com uma avaliação, visando estabelecer uma correspondência entre os resultados encontrados durante a validação e uma classificação qualitativa para cada requisito avaliado. Cada um dos cinco requisitos, portanto, foram aferidos em um dos critérios de avaliação, elencados na Tabela 1, após a utilização do software ADB-Tracker em campo.

Tabela 1 Requisitos e critérios utilizados para a validação UAT do software ADB-Tracker

	Requisito	Avaliação
1	Sobre <i>atender necessidades reais de agricultores</i> , o ADB-Tracker pode ser classificado como:	<ul style="list-style-type: none"> • Atende completamente • Atende parcialmente • Não atende
2	Sobre <i>possuir uma interface gráfica intuitiva</i> , o ADB-Tracker pode ser classificado como:	<ul style="list-style-type: none"> • Ótimo • Bom • Regular • Ruim • Péssimo
3	Sobre <i>possuir métodos automatizados de processamento dos dados coletados</i> , o ADB-Tracker pode ser classificado como:	<ul style="list-style-type: none"> • Possui • Possui parcialmente • Não possui
4	Sobre <i>possuir uma interface que permita acesso às funções de processamento e análise de forma fácil</i> , o ADB-Tracker pode ser classificado como:	<ul style="list-style-type: none"> • Possui • Possui parcialmente • Não possui
5	Sobre <i>permitir a integração de conhecimento do usuário</i> , o ADB-Tracker pode ser classificado como:	<ul style="list-style-type: none"> • Ótimo • Bom • Regular • Ruim • Péssimo

Para a validação UAT do software ADB-Tracker – front-end (que o usuário tem acesso), bem como sua integração com a ADB-API-Tracker – back-end (que executa as rotinas, faz o gerenciamento das ações e devolve os relatórios para visualização via ADB-Tracker), foram utilizados shapefiles de ZMs delineadas sobre duas áreas agrícolas na região oeste do Paraná (Figura 3).

²⁰JavaScriptObjectNotation: Formato de troca de dados entre sistemas, bastante compacto e rápido.

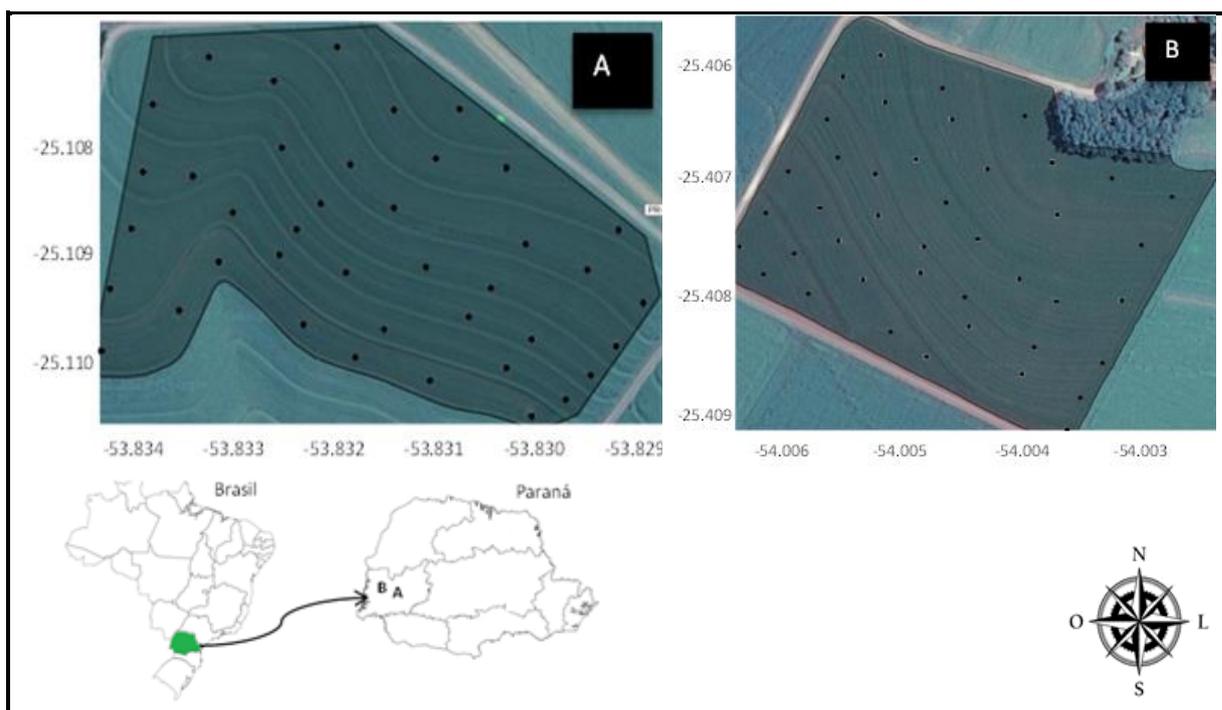


Figura 3 Áreas experimentais utilizadas na validação UAT do ADB-Tracker, com as grades amostrais: Céu Azul/PR (A); e Serranópolis do Iguaçu/PR (B).

Estas áreas agrícolas, cujos solos são classificados como Latossolo Vermelho Distroférico típico (EMBRAPA, 2006), são cultivadas no sistema de plantio direto com sucessão de soja, trigo, milho e aveia (área A) e sucessão de soja e milho (área B), tendo ainda as seguintes características:

- Área A: 15 ha, município de Céu Azul/PR, localização geográfica central $25^{\circ}06'32''$ S e $53^{\circ}49'55''$ O, e altitude média de 460m;
- Área B: 9,9 ha, município de Serranópolis do Iguaçu/PR, localização geográfica central $25^{\circ}24'28''$ S e $54^{\circ}00'17''$ O, e altitude média de 355m;

As grades amostrais ilustradas pelos pontos dispersos na Figura 3 (A e B) foram utilizadas nas coletas de dados entre os anos de 2012 e 2014, e seguem a recomendação da literatura de pelo menos 2,5 pontos por ha (JOURNEL; HUIJBREGTS, 1978), sendo 40 pontos amostrais para a área A (2,7 pontos por ha) e 42 pontos amostrais para a área B (4,2 pontos por ha). Os dados de produtividade para a área A foram determinados com auxílio de um monitor de colheita (AFS PRO 600, Case IH, Racine, EUA) acoplado em uma colhedora (Case IH 2388, Case IH, Sorocaba, Brasil), ao passo que para a área B, a produtividade foi determinada por meio da colheita de uma área de amostragem de 1 m^2 em cada um dos pontos de amostragem, e corrigida para umidade de 13%. Para reduzir a variabilidade temporal dos dados de produtividade, visto que estes dados são influenciados diretamente pelo clima e precipitação de cada ano, estes dados foram normalizados, a fim de obter uma variável única para cada área produtiva.

A elevação das áreas A e B foi determinada com uso de uma estação total (Topcon GPT 7505, Topcon Corporation, Tóquio, Japão), ao passo que a resistência do solo à penetração (RSP) foi determinada com um penetrômetro de solo (penetroLOG PGL1020, Falker Automação Agrícola, Porto Alegre, Brasil). As amostras de solo foram coletadas a uma profundidade de 0-0,2 m e enviadas ao laboratório para análise.

Para delinear os shapefiles das ZMs que foram utilizados na validação UAT do software ADB-Tracker, foram utilizados os atributos considerados estáveis, coletados conforme supra descrito: RSP, elevação, densidade, porcentagem de argila, silte, areia e matéria orgânica, e produtividade de soja e de milho – dessa forma excluindo os atributos químicos do solo, satisfazendo recomendação da literatura (DOERGE, 2000). A geração dos shapefiles com as ZMs delineadas seguiu o protocolo de Souza et al. (2018), sendo realizadas conforme a seqüência indicada no fluxograma da Figura 4.

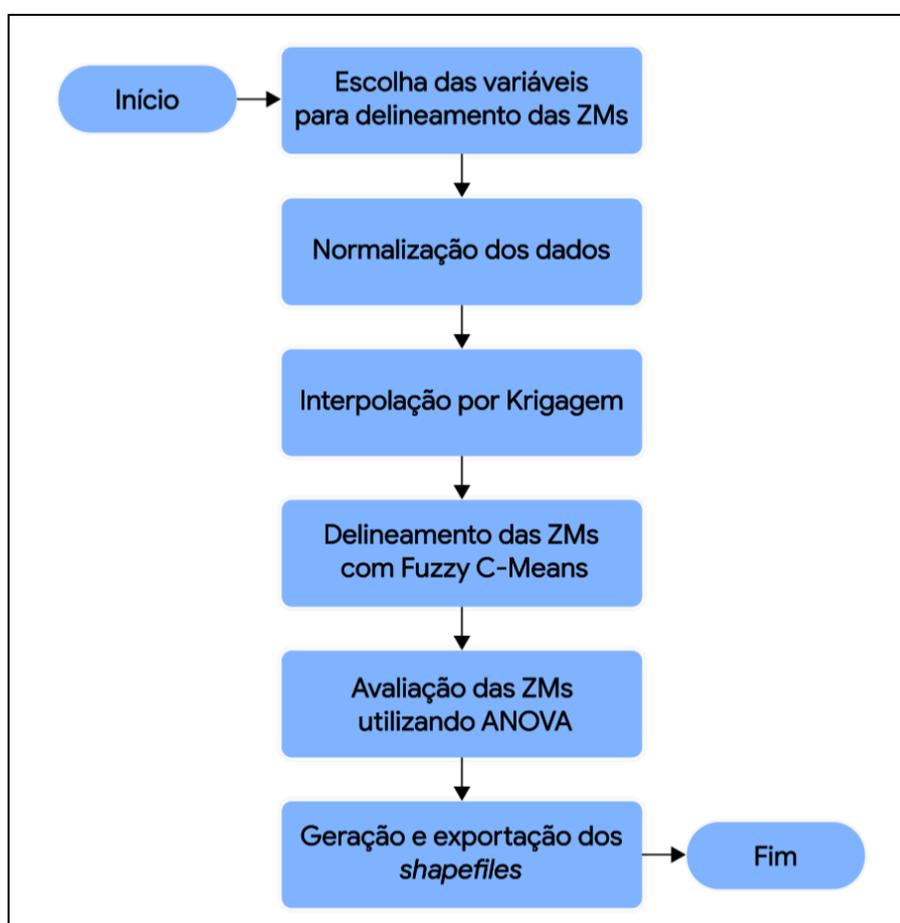


Figura 4 Fluxograma das etapas para geração dos shapefiles das ZMs delineadas conforme o protocolo de Souza et al. (2018), para validação UAT do ADB-Tracker.

Os shapefiles gerados para serem importados pela ADB-API-Tracker na validação UAT do ADB-Tracker foram provenientes das ZMs delineadas com auxílio do software SDUM. Ressalta-se, entretanto, que estas ZMs poderiam ser geradas a partir de qualquer software com esse objetivo, desde que o arquivo de saída gerado seja disponibilizado no formato

shapefile (com as layers.SHP, .SHX e.DBF) para importação pela ADB-API-Tracker.

6.3.2 Preparação da Validação UAT

A segunda etapa do ciclo de execução de testes UAT para validação de um software é a preparação desta validação. Para que os testes sejam executados conforme a etapa de planejamento definida, a etapa de Preparação deve descrever a adequação do ambiente de testes relativa aos equipamentos – especificamente a configuração de software e de hardware, e também caracterizar quem realizará a validação, mas de forma a não identificá-lo (IEEE-SWEBOK, 2019).

Deste modo, para realizar a validação UAT do software ADB-Tracker, dispôs-se das características descritas na Tabela 2 com relação à configuração de equipamentos e às características do usuário.

Tabela 2 Configuração dos equipamentos utilizados e descrição do usuário para a validação UAT do software ADB-Tracker

Smartphones Utilizados	Marca: ASUS Modelo: Zenfone 3 Processador: Qualcomm Snapdragon 625 de 2 GHz Memória RAM: 4 GB Memória disponível: 64 GB Sistema Operacional: Android8 (Oreo) Tamanho da tela: 5,5 polegadas
	Marca: Sony Modelo: F5122 Processador: Cortex-A53 de 1.2 GHz Memória RAM: 3 GB Memória disponível: 64 GB Sistema operacional: Android 7 (Nougat) Tamanho da tela: 5 polegadas
Usuário	Idade: 33 Sexo: Masculino Profissão: Professor/Pesquisador Experiência no ramo agrícola: Baixa Experiência em validação de software: Alta

Tais características são importantes como registros para o teste de validação UAT de um software, a fim de orientar futuras replicações destes testes com um grupo maior de usuários que apresentem características diferentes, ou ainda para equipamentos com configurações heterogêneas, o que pode vir a apresentar possíveis diferentes resultados entre si, guiando a melhoria do software em suas versões subsequentes, na direção de obter uma versão a ser homologada e liberada para uso sem monitoramento de quem o desenvolveu.

Não foram preparados testes para validação UAT desta versão do ADB-Tracker em nenhum smartphone com o sistema operacional iOS, haja vista que o processo para a realização de testes nestes dispositivos que a empresa detentora deste sistema operacional impõe exige que o desenvolvedor possua um smartphone da Apple que esteja registrado na

conta do desenvolvedor e habilitado para ser um dispositivo de teste, devidamente autorizado por meio de uma licença de desenvolvimento da Apple, com um custo anual de 99 dólares²¹, não sendo condizente com esta validação neste íterim.

6.3.3 Especificação

A terceira etapa do ciclo de execução de testes UAT para validação de um software é a especificação desta validação. Compete a esta etapa, como atividade principal, a elaboração dos cenários e roteiros de testes (IEEE-SWEBOK, 2019). Na validação sob os moldes da UAT para o software ADB-Tracker, a fase de especificação descreve as áreas utilizadas e delineadas em ZMs, sobre as quais se fez uso do ADB-Tracker a fim de validá-lo. Foram utilizados shapefiles de ZMs delineadas em duas e em três classes para as áreas A e B, conforme a etapa de planejamento da validação UAT do ADB-Tracker, conforme exemplifica a Figura 5.

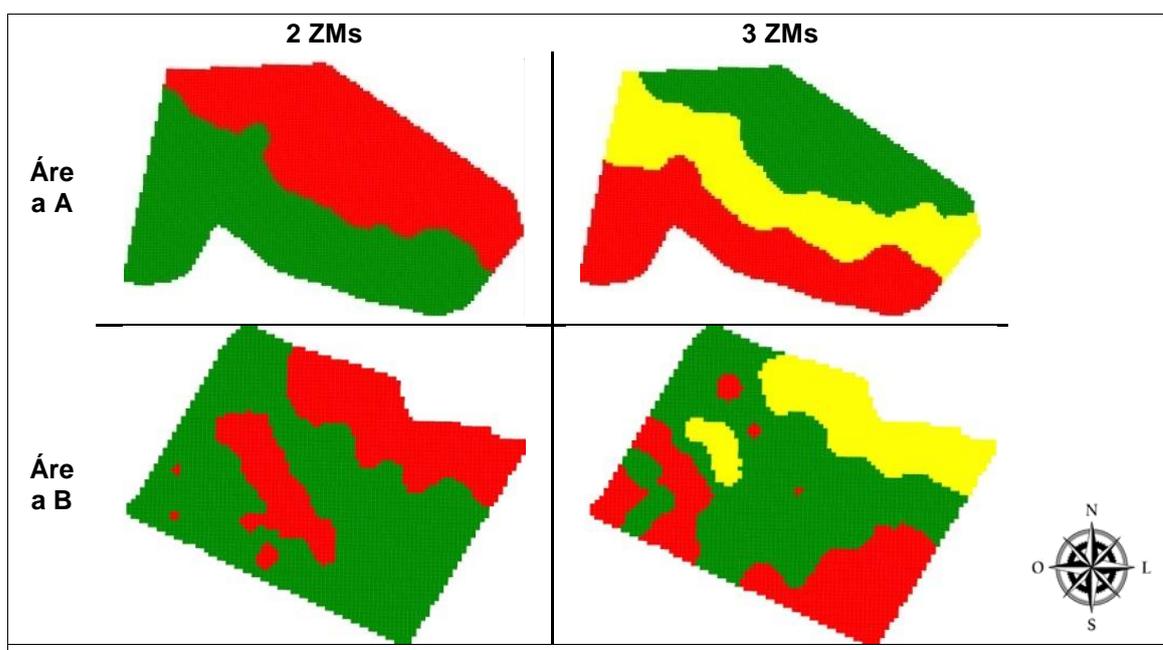


Figura 5 Shapefiles utilizados na validação UAT do software ADB-Tracker, com delineamento em duas e três ZMs, para as áreas A e B.

A execução da validação ocorreu nos meses de dezembro de 2018 e janeiro de 2019. Como o software ADB-Tracker não é dependente de operação agrícola específica, esta deve ser sempre configurada no início da execução de uma operação agrícola que ocorrerá com seu auxílio e monitoramento. Por esse motivo, para a etapa de especificação da validação UAT do software ADB-Tracker, não houve necessidade do detalhamento do tipo de operação realizada nem da cultura plantada no momento destes testes, haja vista que os requisitos e

²¹ Fonte: <https://developer.apple.com/>

seus respectivos critérios de avaliação definidos na fase de planejamento não são dependentes destas informações.

6.4 Execução e Entrega – Resultados e Discussão

A quarta etapa do ciclo de execução de testes UAT para validação de um software é a etapa de execução, na qual os testes planejados, preparados e especificados nas etapas anteriores são agora executados, e os resultados obtidos são registrados e discutidos (IEEE-SWEBOK, 2019).

Para a execução dos testes foram realizados caminhamentos pelas ZMs reais geradas pelo SDUM a partir do planejamento e da preparação da validação UAT, exportadas em shapefiles que foram importados pela ADB-API-Tracker e associados ao usuário que realizou os testes. Desta forma, tais caminhamentos objetivaram simular operações agrícolas nas respectivas áreas definidas na etapa de especificação da validação UAT do ADB-Tracker, guiando-se geograficamente com o ADB-Tracker. Para isso, as ações iniciais foram realizar a autenticação no ADB-Tracker (Figura 6a) e clicar no botão de Iniciar Nova Operação (Figura 6b).

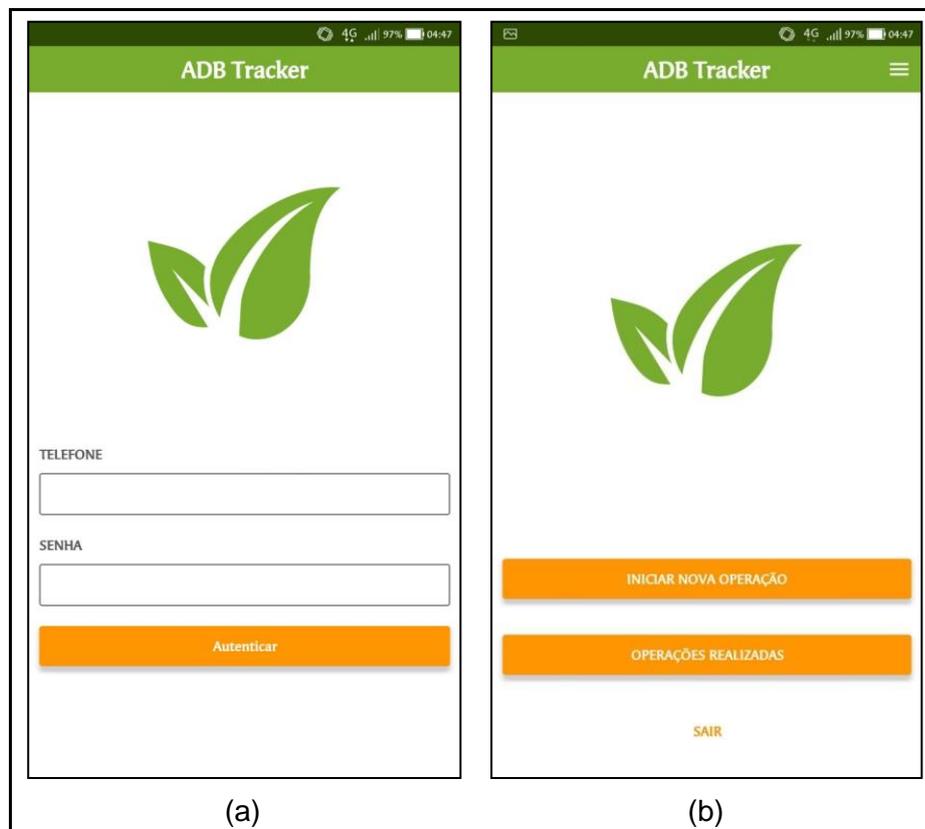


Figura 6 Interface de autenticação (a); e interface de opção para iniciar nova operação (b).

Ao clicar em Iniciar Nova Operação, foi listado ao usuário todos os shapefiles de ZMs

que estão associados a seu login via ADB-API-Tracker (Figura 7a). Após o usuário escolher sobre qual delineamento quer realizar a nova operação agrícola, ele configurou conforme os parâmetros que serão associados quanto à Largura do Implemento, qual Operação foi realizada, qual o Implemento utilizado, qual a Máquina utilizada, quem foi o Operador e quem é o Proprietário da área (Figura 7b). Só foi possível clicar em Iniciar Operação após todos os campos terem sido preenchidos, haja vista que são configurados no ADB-Tracker como obrigatórios.

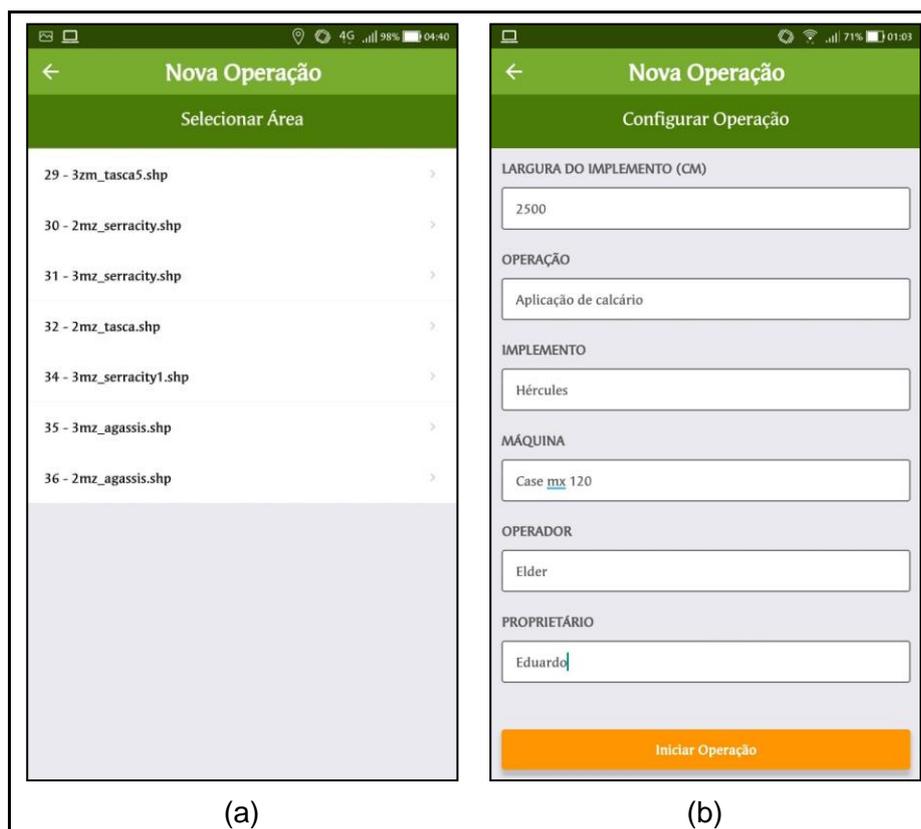


Figura 7 Interface para selecionar o delineamento das ZMs desejado (a); e interface utilizada para a configuração da operação agrícola (b).

Estas simulações foram realizadas conforme os objetivos de rastreamento e orientação geográfica, persistência dos dados na ADB-API-Tracker e posterior visualização dos relatórios. Após a execução destes testes, os requisitos definidos na etapa de Planejamento da validação UAT do ADB-Tracker puderam ser categorizados de acordo com os critérios definidos para cada um, sendo os resultados descritos na Tabela 3, para cada requisito, de acordo com o critério de avaliação de maior aderência em destaque.

Tabela 3 Avaliação obtida sobre os requisitos na validação UAT do software ADB-Tracker

	Requisito	Avaliação	Justificativa
1	Sobre <i>atender necessidades reais de agricultores</i> , o ADB-Tracker pode ser classificado como:	<ul style="list-style-type: none"> • Atende completamente • Atende parcialmente • Não atende 	O ADB-Tracker apresenta uma solução gratuita, independente de outros softwares e dispositivos eletrônicos, que auxilia o operador em sua navegação por ZMs de uma área produtiva de forma gráfica e interativa, ao passo que coleta dados que podem ser acessados posteriormente a fim de auxiliar na tomada de decisão, sendo então avaliado como ATENDE COMPLETAMENTE .
2	Sobre <i>possuir uma interface gráfica intuitiva</i> , o ADB-Tracker pode ser classificado como:	<ul style="list-style-type: none"> • Ótimo • Bom • Regular • Ruim • Péssimo • Ruim 	A interface gráfica do ADB-Tracker é simples, com poucos recursos para acesso durante a execução de uma operação agrícola. Para a configuração da operação agrícola, são poucos dados que devem ser inseridos, e seus respectivos campos possuem máscaras que indicam o que e como deve ser feita essa ação. As demais funcionalidades do software são transparentes para o usuário, que em tempo real apenas acompanha o que o ADB-Tracker apresenta em sua interface gráfica, não sendo necessário inserir dados durante a operação agrícola. Desta forma, a interface gráfica do ADB-Tracker foi considerada BOA .
3	Sobre <i>possuir métodos automatizados de processamento dos dados coletados</i> , o ADB-Tracker pode ser classificado como:	<ul style="list-style-type: none"> • Possui • Possui parcialmente • Não possui 	A interação do operador em campo com o ADB-Tracker é na orientação geográfica e na navegação pelas ZMs com a configuração da operação agrícola que ele realizou no início da operação. Os dados coletados durante a execução dessa operação, tais como horário de início e fim, área coberta, entre outros, são enviados após a finalização da operação para a ADB-API-Tracker, na qual estão hospedadas as rotinas automatizadas que farão o processamento dos dados coletados, não sendo necessária qualquer interação do usuário para esse processamento dos dados enviados. O ADB-Tracker recebe as informações já processadas na forma de relatório em uma área específica; portanto, sendo classificado como POSSUI métodos automatizados de processamento dos dados coletados.
4	Sobre <i>possuir uma interface que permita acesso às funções de processamento e análise de forma fácil</i> , o ADB-Tracker pode ser classificado como:	<ul style="list-style-type: none"> • Possui • Possui parcialmente • Não possui 	O ADB-Tracker foi avaliado como POSSUI PARCIALMENTE neste requisito que afere acesso às funções de processamento e análise de forma fácil via interface. No ADB-Tracker, esse acesso é permitido apenas para os dados de relatórios das operações realizadas em campo para análises, não oferecendo acesso para as funções de processamento, pois não são previstas parametrizações no processamento que ocorrerá no servidor sobre estes dados coletados pelo software durante seu uso.
5	Sobre <i>permitir a integração de conhecimento do usuário</i> , o ADB-Tracker pode ser classificado como:	<ul style="list-style-type: none"> • Ótimo • Bom • Regular • Ruim • Péssimo 	O software aplicativo ADB-Tracker é REGULAR neste requisito, pois fornece acesso somente aos shapefiles das ZMs atribuídas a seus respectivos usuários. Estes shapefiles são inseridos na plataforma por meio do software web da ADB-API-Tracker, até o momento, de forma manual e somente por um usuário administrador. Desta forma, não há integração de conhecimento do usuário com o ADB-Tracker no nível dos arquivos de entrada, mas há interação pela atualização de sua posição em tempo real, apresentando nos mapas das ZMs as regiões/áreas pelas quais já foi realizado o caminharmento. Assim, entende-se que a avaliação para esse critério é tida como REGULAR .

A última etapa do ciclo de execução dos testes UAT para validação de um software foi a fase de entrega, na qual estão relatadas as ocorrências relevantes decorrentes do uso do

software no ambiente para o qual ele foi desenvolvido, visando a melhoria do software em versões subsequentes. Depois de relatadas as ocorrências, a validação UAT é encerrada, arquivando a respectiva documentação gerada, e é tomada a decisão de liberar o software para uso operacional ou recomendar que este retorne para o desenvolvimento visando melhorias e o encaminhando para um novo processo de validação – decisão tomada entre usuário e desenvolvedor. Ao executar essa fase da validação UAT do ADB-Tracker, obtiveram-se resultados a ser discutidos para orientar nessa decisão, após operações realizadas em campo com uso do software.

Notou-se que entre os requisitos elencados e seus critérios obtidos, o ADB-Tracker se apresentou nesta validação UAT como uma solução útil e com valor agregado ao produtor, proporcionando orientação na navegação por ZMs para qualquer operação agrícola, independentemente de quais métodos ou por qual software estas ZMs foram delineadas. Destaca-se como “regular” apenas o requisito cinco entre aqueles elencados na Tabela 3, referente à integração do conhecimento do usuário ao ADB-Tracker, margeando neste contexto avaliar a possibilidade de proporcionar a inserção de informações de ocorrências pelo usuário durante a realização de uma operação agrícola, com o respectivo georreferenciamento de forma automática, integrando esta informação nos relatórios para auxiliar ou prever incidentes em futuras operações agrícolas.

Para os smartphones utilizados, conforme descritos na preparação da validação UAT do ADB-Tracker, pôde-se observar o ótimo funcionamento e leitura dos dados do GNSS, bem como a informação fornecida na interface gráfica de forma precisa ao produtor na orientação de sua navegação nas ZMs. Na Figura 8a percebe-se que houve a inversão ocorrida em poucos metros entre as ZMs identificadas pelas cores azul e amarela. O software ADB-Tracker identificou essa rápida troca de ZMs e informou sobre qual ZM o produtor estava em cada momento da operação de forma correta. Na simulação, a Área 1 em destaque na Figura 8a foi a ZM representada em azul, ao passo que estava identificada como Área 2 a ZM na cor amarela. Essa identificação também foi precisa e devidamente informada quando ocorreu uma pequena saída das áreas das ZMs delineadas, fato que foi informado ao operador no instante em que ele passa a estar fora dos limites das ZMs definidas para a operação agrícola em questão (em destaque na Figura 8b). Nesse sentido, na validação UAT do ADB-Tracker, essa funcionalidade apresentou desempenho bastante satisfatório.

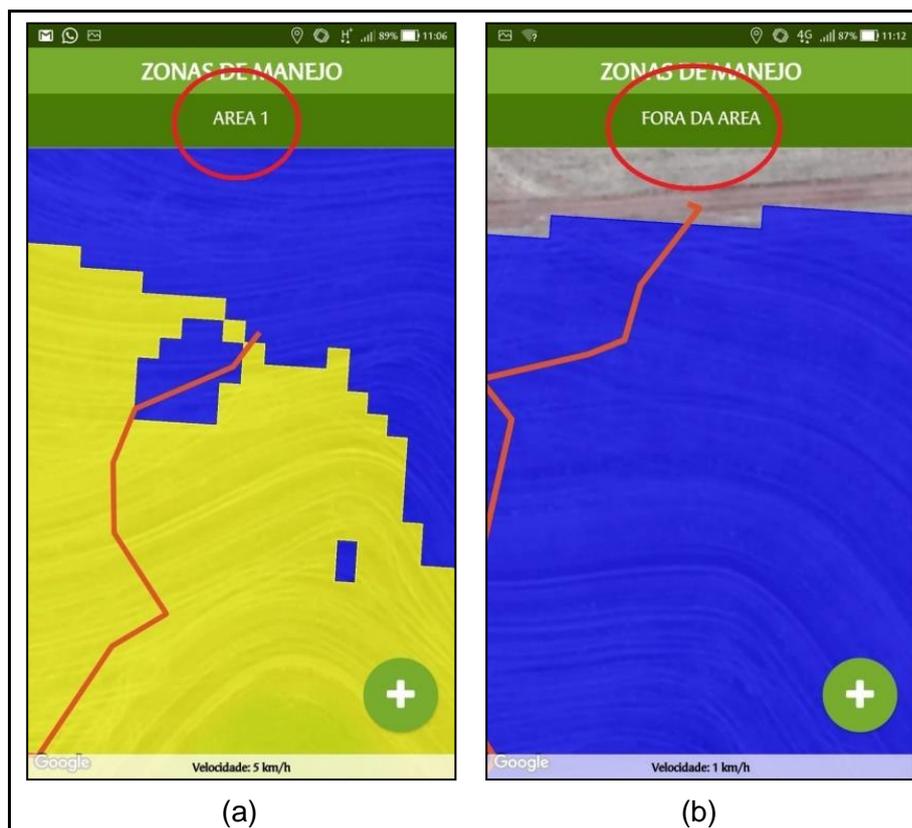


Figura 8 Interface destacando que o operador está sobre a Área 1 (a); e interface destacando que o operador está Fora da Área de operação (b).

As áreas fora dos limites das ZMs delineadas em que o operador se desloca orientado pelo ADB-Tracker (Figura 8b) não são contabilizadas nos relatórios como áreas cobertas, mas contabilizam no tempo de operação caso o operador não interrompa deliberadamente o rastreamento e a navegação pelo software ADB-Tracker – o que pode ser feito ao clicar no botão à direita inferior da interface gráfica, selecionando a opção “Pausar”. Neste contexto, ao realizar a validação em campo notou-se que pode ser adicionada ao ADB-Tracker a funcionalidade deste de dispor de um aviso sonoro ou de vibração do smartphone quando houver uma ocorrência de mudança da ZM ou a saída dos limites da área total do shapefile, colaborando na orientação geográfica durante a navegação pela área produtiva numa operação agrícola.

Ao realizar as baterias de testes notou-se também que para o produtor, seja ele o proprietário ou o operador agrícola, em determinados momentos o preenchimento de todos os campos da configuração da operação no ADB-Tracker pode ser maçante. Assim, alguns campos podem passar a ser não obrigatórios, tais como o nome do proprietário, haja vista que, se não inserido, pode-se admitir que o proprietário seja o usuário que realizou a autenticação.

A arquitetura em camadas independentes sobre a qual a plataforma ADB-Tracker foi desenvolvida apresentou um bom resultado quanto ao baixo consumo de bateria do smartphone durante o uso do software simulando operações agrícolas. Para uma operação

de uma hora e meia de uso (Figura 9), com o ADB-Tracker em tela fazendo o rastreo e oferecendo a orientação geográfica pelas ZMs delineadas para os smartphones utilizados na validação UAT, foi consumido 11% da carga inicial nos smartphones utilizados, conforme a etapa de Preparação dos testes – Média de 7,5% de consumo por hora de operação.



Figura 9 Simulação de uma operação agrícola na área A delineada em duas ZMs.

6.5 Conclusões

Este trabalho descreveu a execução de uma validação da plataforma ADB-Tracker, especificamente do software aplicativo ADB-Tracker, que é a interface de comunicação entre o operador agrícola e a ADB-API-Tracker, sob a perspectiva de Teste de Aceitação do Usuário (UAT) (IEEE-SWEBOK, 2019). O ADB-Tracker apresentou-se estável e cumpriu os objetivos para os quais foi proposto, oferecendo o rastreo e a orientação geográfica para a realização de operações agrícolas por ZMs previamente delineadas.

A solução ADB-Tracker como uma plataforma de software é inovadora no segmento específico de ZMs, gratuita e de código aberto, sendo o software aplicativo ADB-Tracker o responsável pela interação direta com os operadores em campo via smartphones, e a ADB-API-Tracker a camada responsável pela administração dos usuários, shapefiles e operações, bem como pelas rotinas sobre os dados coletados em campo e persistidos no servidor, sendo responsável por um ganho de agilidade e percepção para a realização de operações agrícolas sobre ZMs.

A arquitetura em camadas independentes sobre a qual a plataforma ADB-Tracker foi

desenvolvida apresentou bom desempenho quanto ao quesito duração da bateria do smartphone durante o uso do software simulando operações agrícolas (média de 7,5% de consumo por hora de operação).

6.6 Trabalhos futuros

Apesar dos bons resultados que foram obtidos com essa validação UAT do ADB-Tracker, pretende-se replicar esse protocolo de validação de outras formas a fim de obter mais informações e direcionamento para o devido aprimoramento do software, como: (i) Realizar a validação com um grupo maior e heterogêneo de usuários, a fim de mitigar questões que envolvem habilidades de uso de smartphones, conhecimento de operações agrícolas, ocorrências reais em campo e similares, após aprovação do projeto de validação utilizando outros seres humanos pelo comitê de ética; (ii) Aplicar testes de validação comparando os resultados obtidos por equipamentos de hardware e software proprietários presentes em máquinas agrícolas e com o ADB-Tracker; (iii) Aplicar testes de validação do ADB-Tracker rodando em um dispositivo de hardware específico com sensores de maior precisão em comparação com o ADB-Tracker rodando em smartphones, e avaliar tempo de resposta, uso de bateria, precisão de localização e afins.

Por outro lado, os testes de validação UAT já realizados com o ADB-Tracker o direcionam para os aprimoramentos a serem realizados na sequência: (i) Disponibilizar a funcionalidade de configuração multilinguagem no software aplicativo, oferecendo ao usuário a possibilidade de configurar o ADB-Tracker para utilizá-lo em Português, Espanhol ou Inglês, internacionalizando seu acesso; (ii) Aprimorar a plataforma ADB-Tracker na direção de que o banco de dados da ADB-API-Tracker possa ser integrado ao banco de dados da ADB-API, fundindo-os em uma plataforma maior; e (iii) Possibilitar a leitura de shapefiles como mapas de aplicação com recomendações agronômicas, trabalho em desenvolvimento no projeto AgDataBox.

Ao realizar essa integração e esse aprimoramentos, o projeto ADB-Tracker passará a ser mais uma opção dentro das possibilidades de funcionalidades oferecidas pela plataforma AgDataBox, que tem se consolidado como referência dentro da AP, principalmente no contexto de ZMs, alavancando ainda mais o projeto AgDataBox na direção de solidificá-lo como a maior e mais abrangente solução para delineamento e uso de ZMs no contexto da Agricultura de Precisão.

6.7 Referências

ALBORNOZ, E. M.; KEMERER, A. C.; GALARZA, R.; MASTAGLIA, N.; MELCHIORI, R.; MARTÍNEZ, C. E. Development and evaluation of an automatic software for management zone delineation. **Precision Agriculture**, v. 19, n. 3, p. 463-476, 2018.

ALEGROTH, E.; FELDT, R. Visual GUI testing in practice: challenges, problems and limitations. **Journal of Empirical Software Engineering**, v. 20, n. 3, p. 694-744, 2015. ISSN 1382-3256, E-ISSN 1573-7616.

BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; NÓBREGA, L. H. P.; ROCHA, D. M. Management zones definition using soil chemical and physical attributes in a soybean area. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 5, p. 952-964, 2013.

BETZEK, N. M.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; SCHENATTO, K.; GAVIOLI, A. Rectification methods for optimization of management zones. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 146, n. 1, p. 1-11, 2018.

BOURQUE P.; FAIRLEY R. E. **Guide to the Software Engineering Body of Knowledge**, Version 3.0, IEEE Computer Society, 2014.

BRONSON, K. Digitization and Big Data in Food Security and Sustainability. **Reference Module in Food Science**. Elsevier, 2018. 8 p. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965224621#bib1>>. Acesso em 22 set. 2018.

BURAK, D. L.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob cafeeiro Conilon: relação com textura, matéria orgânica e relevo. **Bragantia**, Campinas, v. 71, p. 538-547, 2012.

CEMA – European Agricultural Machinery. **Digital farming**: what does it really mean? Brussels: CEMA, 2017. 9p.

CID-GARCIA, N. M.; BRAVO-LOZANO, A. G.; RIOS-SOLIS, Y. A. A crop planning and realtime irrigation method based on site-specific management zones and linear programming. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 107, p. 20-28, 2014.

CÓRDOBA, M.; BRUNO, C.; COSTA, J. L.; PERALTA, N. R.; BALZARINI, M. Protocol for multivariate homogeneous zone delineation in precision agriculture. **Biosystems Engineering**, London, v. 143, n. 1, p. 95-107, 2016.

DOERGE, T. A. Management Zone Concepts. Site-Specific Management Guidelines. Norcross: Potash & Phosphate Institute, 2000.

EL-SHARKAWY, M. M.; SHETA, A. S.; EL-WAHED, M. S. A.; ARAFAT, S. M.; EL-BEHIERY, O. M. Precision Agriculture using Remote Sensing and GIS for Peanut Crop Production in Arid Land. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 58, n. 8, p. 1246-1266, 2016.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306 p.

FERRAZ, G. A. E. S.; SILVA, F. M.; CARVALHO, F. M.; COSTA, P. A. N.; CARVALHO, L. C. C. Viabilidade econômica do sistema de adubação diferenciado comparado ao sistema de

adubação convencional em lavoura cafeeira: um estudo de caso. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 5, 2012.

FLEMING, K. L.; HEERMANN, D. F.; WESTFALL, D. G. Evaluating Soil Color with Farmer Input and Apparent Soil Electrical Conductivity for Management Zone Delineation. **Agronomy Journal**, v. 96, p. 1581-1587, 2004.

FONTANA, F. S. **Definição de zonas de manejo utilizando algoritmo de agrupamento Fuzzy C-Means com variadas métricas de distâncias**. 2017. 71f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

FRIDGEN, J. J.; KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T.; WIEBOLD, W. J.; FRAISSE, C. W. Management zone analyst (MZA): software for subfield management zone delineation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 100-108, 2004.

GAVIOLI, A. **Módulos computacionais para seleção de variáveis e análise de agrupamento para definição de zonas de manejo**. 2017. 122f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

GONTIJO, I.; NICOLE, L. R.; PARTELLI, F. L.; BONOMO, R.; SANTOS, E. O. de J. Variabilidade e correlação espacial de micronutrientes e matéria orgânica do solo com a produtividade da pimenta-do-reino. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 1093-1102, 2012.

IEEE-SWEBOK. **Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK V3)**. Disponível em: <http://www.swebok.org>. Acesso em: 2 jan. 2019.

JOURNAL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining Geostatistics**. London, New York, San Francisco: Academic Press. 1978.

KHOSLA, R.; INMAN, D.G.; WESTFALL, R.; RIECH, W. M.; FRASIER, M.; MZUKU, B. A synthesis of multi-disciplinary research in precision agriculture: Site-specific management zones in the semi-arid Western Great Plains of the USA. **Precision Agriculture**, n. 9, n. 2, p. 85-100, 2008.

LEROUX, C.; JONES, H.; PICHON, L.; GUILLAUME, S.; LAMOUR, J.; TAYLOR, J.; NAUD, O.; CRESTEY, T.; LABLEE, J.; TISSEYRE, B. Geofis: an open source, decision-support tool for precision agriculture data. **Agriculture**, v. 8, n. 6, p. 14-21, 2018.

LEUNG, H. K.; WONG P. W. L. A study of user acceptance tests. **Software Quality Journal**, v. 6, n. 1, p. 137-149, 1997.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. **FuzME version 3**. Australian Centre for Precision Agriculture, The University of Sydney, 2002. Disponível em <http://sydney.edu.au/agriculture/acpa/software/fuzme.shtml>. Acesso em 24 jun. 2018.

MOLIN, J. P.; FAULIN, G. C. Spatial and temporal variability of soil electrical conductivity related to soil moisture. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 1, p. 1-5, 2013.

MURAKAMI, E.; SARAIVA, A. M.; RIBEIRO JUNIOR, L. C. M.; CUGNASCA, C. E.; HIRAKAWA, A. R.; CORREA, P. L. P. An infrastructure for the development of distributed service-oriented information systems for Precision Agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 58, p. 37-48, 2007.

MYERS, Glenford J. **The Art of Software Testing**. 2 ed. Nova Jérsei: John Wiley & Sons 2012. 240 p.

NESI, C. N.; RIBEIRO, A.; BONAT, W. H.; RIBEIRO JR, P. J. Verossimilhança na seleção de modelos para predição espacial. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 352-358, 2013.

PEDROSO, M.; TAYLOR, J.; TISSEYRE, B.; CHARNOMORDIC, B.; GUILLAUME, S. A segmentation algorithm for the delineation of management zones. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 70, n. 1, p. 199-208, 2010.

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de Software: uma abordagem profissional**. 8 ed. São Paulo: Amgh, 2016. 968 p.

RODRIGUES JUNIOR, F. A.; VIEIRA, L. B.; QUEIROZ, D. M. de.; SANTOS, N. T. Geração de zonas de manejo para cafeicultura empregando-se sensor SPAD e análise foliar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 15, n. 8, p. 778-787, 2011.

SANTOS, R. T.; SARAIVA, A. M. A Reference Process for Management Zones Delineation in Precision Agriculture. **IEEE Latin America Transactions**, v. 13, n. 3, p. 727-738, 2015.

SCHENATTO, K. **Utilização de métodos de interpolação e agrupamento para definição de unidades de manejo em agricultura de precisão**. 2014. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014.

SCHENATTO, K.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; BETZEK, N. M.; GAVIOLI, A.; BENEDEZZI, H. M. Use of the farmer's experience variable in the generation of management zones. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 2305-2321, 2017b.

SCHENATTO, K.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; GAVIOLI, A.; BETZEK, N. M.; BENEDEZZI, H. B. Normalization of data for delineating management zones. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 143, n. 1, p. 238-248, 2017a.

SHEN, S.; BASIST, A.; HOWARD, A. Structure of a Digital Agriculture System and Agricultural Risks Due to Climate Changes. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 1, n. 1, p. 42-51, 2010.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**. 10 ed. São Paulo: Pearson, 2015. 816 p.

SORENSEN, C. G.; FOUNTAS, S.; NASH, E.; PESONEN, L.; BOCHTIS, D.; PEDERSEN, S. M.; BASSO, B.; BLACKMORE, S. B. Conceptual model of a future farm management information system. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 72, p. 37-47, 2010.

SOUZA, E. G.; SCHENATTO, K.; BAZZI, C. L. Creating thematic maps and management zones for agriculture fields. In: International Conference on Precision Agriculture, 14. ed.; 2018, Montreal. **Anais [...]** Montreal: ICPA Press, 2018. 1 CD-ROM.

SOUZA, Z. M. de; GUILHERME, D.; CERRI, P.; HENRIQUE, L.; RODRIGUES, A. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 840-847, 2010.

SUSZEK, G.; SOUZA, E. G. de; URIBE-OPAZO, M. A.; NOBREGA, L. H. P. Determination of management zones from normalized and standardized equivalent productivity maps in the soybean culture. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 5, p. 895-905, 2011.

SWEBOK. **Guide to the Software Engineering Body of Knowledge**, 2004. Project of the IEEE Computer Society Professional Practices Committee. Disponível em: <https://www.computer.org/web/swebok>. Acesso em: 10 dez. 2018.

WOLFERT, S.; GE, L.; VERDOUW, C.; BOGAARDT, M. Big data in smart farming: a review. **Agricultural Systems**, v. 153, n. 1, p. 69-80, 2017.

XIN-ZHONG, W.; GUO-SHUN, L.; HONG-CHAO, H.; ZHEN-HAI, W.; QING-HUA, L.; XU-FENG, L.; WI-HONG, H.; YAN-TAO, L. Determination of management zones for a tobacco Field based on soil fertility. **Computers and electronics in agriculture**, Amsterdam, v. 65, p. 168-175, 2009.

YAN, L.; ZHOU, S.; FENG, L.; HONG-YI, L. Delineation of site-specific management zones using fuzzy clustering analysis in a coastal saline land. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 56, p.174-186, 2007.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil é destaque há diversos anos no cenário agrícola, muito mais em função da sua expressão em termos de produção total do que pela produtividade de suas culturas. Entretanto, com a adoção de novas técnicas de produção, entre as quais se destaca a Agricultura de Precisão (AP), a produtividade está crescendo. Dentre as possibilidades de implementação da AP, as zonas de manejo (ZMs) vêm sendo frequentemente adotadas, principalmente por pequenos produtores. Neste cenário, máquinas e implementos agrícolas têm sido cada vez mais associados a tecnologias embarcadas e utilizados nas mais variadas operações agrícolas. Esse cenário tem exigido também que o produtor e os trabalhadores rurais aprimorem suas habilidades, principalmente na manipulação de equipamentos eletrônicos e softwares especialistas. A preocupação com questões ambientais e financeiras também ratifica a crescente necessidade de utilização de artefatos tecnológicos, que são cada vez mais habituais ao dia a dia do produtor rural.

Nesse contexto, constantemente surgem variadas soluções em software e hardware, cada qual com seus respectivos objetivos. Entretanto, soluções com código fonte aberto, gratuitas e desacopladas de equipamentos ou fornecedores específicos não são comuns, pois o mercado propulsor destas soluções visa tanto o lucro quanto acoplar o usuário a soluções de fabricantes específicos, mitigando a possibilidade de escolha do produtor ou deixando-o sem cobertura tecnológica para determinadas operações agrícolas.

Diante de tais desafios, este trabalho apresentou uma solução na forma de uma plataforma para agricultura digital – mais especificamente no âmbito da AP, de forma a preencher uma lacuna em aberto da plataforma AgDataBox (ADB). Esta solução, composta de software e hardware livres, foi denominada ADB-Tracker, com a função de interpretar os mapas temáticos de ZMs em formato shapefile a fim de guiar o produtor em suas operações agrícolas. Não obstante a solução desenvolvida, e sendo notório que, referindo-se a sistemas especialistas, há inúmeras soluções desenvolvidas que não se tornam viáveis pela falta de uma correta validação por um usuário no ambiente para a qual ela foi operacionalizada, este trabalho também realizou e apresentou os resultados de uma validação de aceitação do usuário tendo como foco o software aplicativo ADB-Tracker – meio pelo qual o usuário em campo realizará a interação com a plataforma desenvolvida.

Desta forma, este trabalho demonstrou que a solução ADB-Tracker é inovadora no segmento específico de ZMs, gratuita e de código aberto, sendo o software aplicativo ADB-Tracker o responsável pela interação direta com os operadores em campo via smartphones. Já a ADB-API-Tracker corresponde a camada responsável pela administração dos usuários, shapefiles e operações, bem como pelas rotinas sobre os dados coletados em campo e persistidos no servidor, sendo responsável por um ganho de agilidade e percepção para a realização de operações agrícolas sobre ZMs. O ADB-Tracker apresentou-se estável e

cumpriu os objetivos para os quais foi proposto, oferecendo o rastreo e a orientação geográfica para a realização de operações agrícolas por ZMs previamente delineadas.

Após a validação realizada, alguns aprimoramentos deverão ser realizados em breve, a saber: (i) Disponibilizar a funcionalidade de configuração multilinguagem no software aplicativo, oferecendo ao usuário a possibilidade de configurar o ADB-Tracker para utilizá-lo em Português, Espanhol ou Inglês, internacionalizando seu acesso; (ii) Aprimorar a plataforma ADB-Tracker na direção de que o banco de dados da ADB-API-Tracker possa ser integrado ao banco de dados da ADB-API, fundindo-os em uma plataforma maior; e (iii) Possibilitar a leitura de shapefiles como mapas de aplicação com recomendações agrônômicas.

Estudos futuros remetem para a replicação do protocolo de validação com um grupo maior e heterogêneo de usuários, a fim de mitigar questões que envolvem habilidades de uso de smartphones, conhecimento de operações agrícolas, vislumbrar possíveis ocorrências reais em campo, bem como objetiva-se também aplicar testes de validação comparando os resultados obtidos por equipamentos de hardware e software proprietários presentes em máquinas agrícolas com os resultados da ADB-Tracker. Também deverá ser realizada a aplicação de testes de validação do ADB-Tracker rodando no dispositivo de hardware específico, projetado com sensores de maior precisão, de modo a avaliar tempo de resposta, uso de bateria, precisão de localização, entre outras variáveis.

O objetivo maior é que, após realizar os devidos aprimoramentos e respectivos testes, a plataforma ADB-Tracker se torne mais uma opção dentro do cardápio de funcionalidades oferecidas pela plataforma ADB, colaborando na consolidação desta como referência dentro da AP, principalmente no contexto de ZMs, contribuindo na solidificação desta como a maior e mais abrangente solução para delineamento e uso de ZMs no contexto da AP.