

COMPUTAÇÃO MÓVEL APLICADA COMO SISTEMA DE SUPERVISÃO DE PROCESSOS DE MANUFATURA INDUSTRIAL

Rafael Schuch¹

Gustavo Lermen²

Resumo: O objetivo deste trabalho é apresentar uma solução elaborada com recursos de computação móvel para o controle do processo de manufatura industrial no que tange o acompanhamento da disponibilidade e eficiência das máquinas de uma linha produção industrial. Como método adotou-se a pesquisa bibliográfica para a apresentação dos conceitos relacionados ao objetivo da pesquisa e contextualização do problema e solução. Foi desenvolvido um protótipo funcional sobre a plataforma Windows Phone a fim de exemplificar a solução para o problema proposto. Por fim, conclui-se que a aplicação de computação móvel como um recurso de acompanhamento remoto de processos de manufatura automatizados pode trazer vantagens competitivas para a empresa a um baixo custo.

Palavras-chave: Computação Móvel. Manufatura. Automação. Windows Phone.

1 INTRODUÇÃO

A busca contínua pela otimização dos processos produtivos introduziu os sistemas de informação como ferramenta de suporte à manufatura de tal forma que hoje é impensável uma linha de produção industrial sem um controle total de suas operações através destes sistemas. Desde a compra da matéria prima até a expedição do produto acabado, tudo pode ser controlado e muito pode ser previsto com o uso de sistemas informatizados, tornando os processos cada vez mais enxutos e eficientes, reduzindo desperdícios e maximizando resultados. Para obter vantagens competitivas neste contexto deve-se observar o cenário atentamente em busca de pontos não atendidos completamente pelos atuais sistemas de informação. Com esta premissa em mente, é possível identificar características interessantes sobre os limites físicos impostos pelos atuais sistemas. Pensando estritamente em uma linha de produção hipotética, que é foco deste trabalho, é possível afirmar que o presidente executivo de uma grande multinacional possa visualizar em tempo real

¹ Rafael Schuch, Bacharel em Sistemas de Informação pela FACENSA e pós-graduado em Engenharia de Sistemas pela ESAB – rafaelbitello@gmail.com

² Gustavo Lermen, Bacharel em Ciência da Computação pela UNISINOS e Mestre em Computação Aplicada também pela UNISINOS – glermen@unisininos.br

a produção de uma máquina que está localizada do outro lado do mundo, sem sair da sua mesa. Em contrapartida pode ocorrer que o supervisor de uma linha de produção desconheça completamente a parada desta mesma máquina simplesmente porque está em reunião, a alguns metros. A aplicação de um sistema de supervisão eficiente que dê conhecimento aos interessados sobre a situação atual da linha de produção pode reduzir consideravelmente perdas no fluxo produtivo tornando-se uma vantagem competitiva (JORGE JUNIOR, 2003).

Posto o problema de como contribuir para o controle mais eficiente de um processo de manufatura industrial, no que tange a disponibilidade e eficiência de máquinas e equipamentos automatizados, este trabalho propõe uma aplicação desenvolvida para dispositivos móveis cujo objetivo é prover um meio para o acompanhamento remoto de linhas de produção. Mais especificamente, os objetivos deste trabalho são: desenvolver uma solução completa e de baixo custo que possa facilmente ser implantada em qualquer linha de produção que tenha interesse em melhorar seu processo produtivo; estudar e entender a área de manufatura industrial, em busca de oportunidade para futuras implementações; aplicar os conhecimentos adquiridos no curso de Especialização em Desenvolvimento de Aplicações para Dispositivos Móveis em um problema real e com potencial para futuros trabalhos.

A seção 2 traz um referencial teórico com diferentes trabalhos realizados na área de controle e monitoração de processos de manufatura, mostra o que são sistemas de supervisão e como estes podem contribuir com a produtividade de uma linha de produção. Apresenta ainda a ferramenta de gestão visual Andon, que é integrante do Sistema Toyota de Produção (LIKER, 2005).

A seção 3 apresenta a metodologia de desenvolvimento, onde são apresentados todos os passos realizados para a elaboração deste trabalho e para o desenvolvimento do protótipo foco deste estudo, abordando desde o levantamento de requisitos de uma linha de produção hipotética, passando pelas etapas de projeto onde são descritas as tecnologias empregadas na elaboração do protótipo e esquematização de sua arquitetura, chegando até a apresentação de alguns recursos interessantes da plataforma adotados na solução. Por fim, esta seção apresenta os testes realizados e a impressão de usuários que utilizaram a aplicação.

A seção 4 apresenta a conclusão do trabalho, retomando o problema proposto e avaliando a solução desenvolvida. Neste ponto do desenvolvimento o

domínio do problema é suficiente para a sugestão de implementações futuras baseadas neste trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão abordados temas pertinentes a elaboração da solução proposta. Começa definindo computação móvel, apresentando características históricas, tendências e conceitos que introduzem alguns trabalhos que lançaram mão de mobilidade ou que teriam ganhos ao utilizá-la. Por fim, é abordada a plataforma Windows Phone 8, escolhida como alvo para a elaboração deste trabalho.

2.1 Computação Móvel

O avanço das tecnologias de comunicação sem fio e de dispositivos compactos com alto poder de processamento abriram caminho para a computação móvel, que pode ser considerada uma evolução natural da computação distribuída. Mateus e Loureiro (1998) previram em seu livro que a redução dos custos dos dispositivos móveis tornaria a computação móvel viável para a população em geral.

Esta consideração é ratificada pelo aumento nas aquisições de dispositivos móveis entre 2012 e 2013, na ordem de 12%, enquanto no mesmo período os PCs, incluindo notebooks, tiveram uma queda de quase 8%. E esta tendência deve se manter ao longo dos próximos anos. A previsão é que a venda de PCs sofra uma queda de quase 20% até 2017 quando comparado a 2012. Neste mesmo período a venda de dispositivos móveis crescerá aproximadamente 70% impulsionada pela diminuição dos preços de *tablets* e *smartphones* (GARTNER, 2013).

A computação móvel é um marco tão importante na história da computação que se equipara a evoluções significativas como a criação dos centros de processamento de dados na década de sessenta, ao surgimento dos terminais na década de setenta ou as redes de computadores na década de oitenta (MATEUS, LOUREIRO, 1998).

Este conceito nasceu com a evolução dos *laptops* e redes *wireless* no início da década de noventa, baseado nos princípios básicos da computação distribuída. Devido às restrições provenientes deste ambiente, novas técnicas de

desenvolvimento se fizeram necessárias. As quatro principais restrições deste ambiente são: variação na qualidade da rede, baixa confiança e robustez dos dispositivos móveis, limitação de recursos dos dispositivos e consumo de bateria (SATYANARAYANAN, 2001).

Os conceitos de sistemas distribuídos e computação móvel, por sua vez, introduzem a ideia de computação pervasiva que consiste em um ambiente rico em recursos computacionais e de comunicação tão intimamente contextualizados ao usuário que chega ao ponto de tornar-se imperceptível. Esta ideia remete ao fato de que o usuário está tão habituado e confortável com a tecnologia que o cerca que acaba usufruindo dos recursos computacionais inconscientemente (SATYANARAYANAN, 2001).

Hoje em dia, graças à evolução tecnológica de hardware, software e avanços nas redes, a computação pervasiva pode ser observada ao ler um e-mail ou acessar a internet através dos mais variados dispositivos. Mais do que ter a informação na ponta dos dedos em qualquer lugar e a qualquer momento, a computação móvel abriu espaço para novos modelos de negócios e relacionamento com clientes (SATYANARAYANAN, 2010).

A rápida e farta disponibilidade de informações através dos mais variados dispositivos móveis é um fato inegavelmente consumado assim como a oferta de uma gama de serviços baseados em dados e informações que podem ser consumidos em qualquer lugar onde haja um ponto de acesso a internet. Cabe então exercitar quais serão os rumos futuros da computação móvel e como esta impactará a vida da sociedade. Satyanarayanan (2010) aponta alguns aspectos dos dispositivos e da infraestrutura que serão proeminentes nesta área nos próximos anos. Em seu estudo ele prevê a importância dos sensores instalados no dispositivo, como a câmera fotográfica, por exemplo. Quando uma câmera foi integrada a um celular pela primeira vez, houve quem questionasse sua utilidade. Hoje não há dúvidas sobre o sucesso desta integração. Os sensores exercem papel fundamental também no aspecto oportunismo. Neste sentido o GPS merece destaque, uma vez que proporciona a possibilidade de geração de conteúdo com base no contexto onde o usuário está inserido. Por fim, para que os sensores atuem como provedores de informações relevantes e o dispositivo como um cliente capaz de captar oportunidades em meio a uma infinidade de opções, o sistema como um todo deve prover informações consistentes muito próximas ao tempo real.

A infraestrutura é um ponto chave na busca pela transmissão de dados próxima ao tempo real. Neste sentido, alguns estudos buscam soluções. Entre eles é apresentado o conceito de *cloudlet*, uma camada intermediária na tradicional hierarquia de 2 níveis comumente usada em aplicações móveis. Estes 2 níveis geralmente são identificados como cliente e servidor. Mais recentemente o conceito de servidor tem cedido espaço para o termo nuvem (*cloud* em inglês) que nada mais é que a denominação de um recurso computacional composto por uma coleção de servidores. Esta camada intermediária atua entre o cliente e a nuvem, por isto o nome *cloudlet*. Seu objetivo é reduzir a latência da comunicação em rede a fim de proporcionar ao usuário uma nova experiência imersiva através da computação móvel (SATYANARAYANAN, 2010).

2.2 Projetos Relacionados

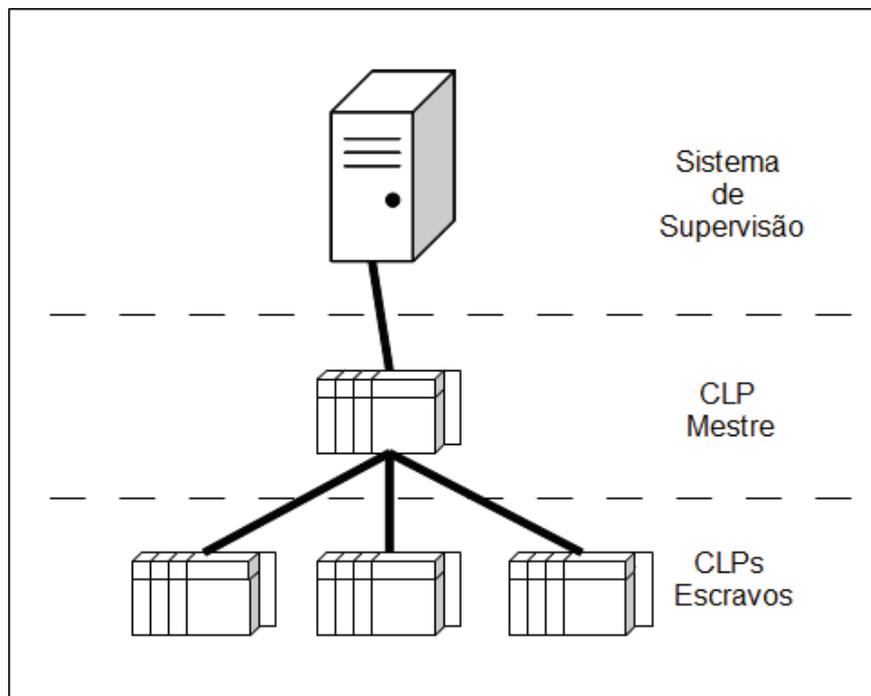
O alto grau de automação nos processos de manufatura atual torna possível o desenvolvimento de uma série de sistemas de informação para controle e supervisão de linhas de produção. A automação geralmente não surge com o propósito de gerar dados a respeito do processo ao qual está sendo aplicada, mas os gera naturalmente em decorrência das tecnologias empregadas. O que poderia ser um subproduto negligenciado é rico em significado quando aplicado a sistemas de informação apropriados.

Um dos objetivos do Sistema de Supervisão é adquirir dados e armazená-los para posterior análise e geração de relatórios a partir de algoritmos e parâmetros pré-definidos. Fornece serviços para acesso a base de dados local, atuando como uma interface entre a linha de produção e outras áreas da empresa interessadas nestas informações (JORGE JUNIOR, 2003).

Jorge Junior (2003) mostra como criar uma arquitetura composta por uma série de Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) de forma a alimentarem um computador central com dados de uma linha de produção. De uma forma simplificada, a arquitetura apresentada por Jorge Junior (2003) é apresentada na Figura 1.

Esta arquitetura é proposta em camadas de modo a ser mais robusta. A divisão do controle entre vários equipamentos torna o sistema mais rápido e facilita a manutenção e detecção de problemas (JORGE JUNIOR, 2003).

Figura 1 –Arquitetura de um sistema de supervisão



Fonte: Jorge Junior (2003)

Em conjunto com uma solução de Gestão Visual os ganhos podem ser maximizados. O Andon é uma ferramenta deste tipo, originária no Sistema Toyota de Produção e tem como objetivo sinalizar através de painéis luminosos a situação atual da linha de produção. Desta forma, todos os envolvidos no processo têm conhecimento sobre as dificuldades instauradas ou iminentes. O Andon contribui com a criação de um comportamento padrão da linha de produção. Qualquer desvio desta regularidade é facilmente observado pelos interessados, agilizando a tomada de decisão para ações corretivas ou de contingência (LIKER, 2005).

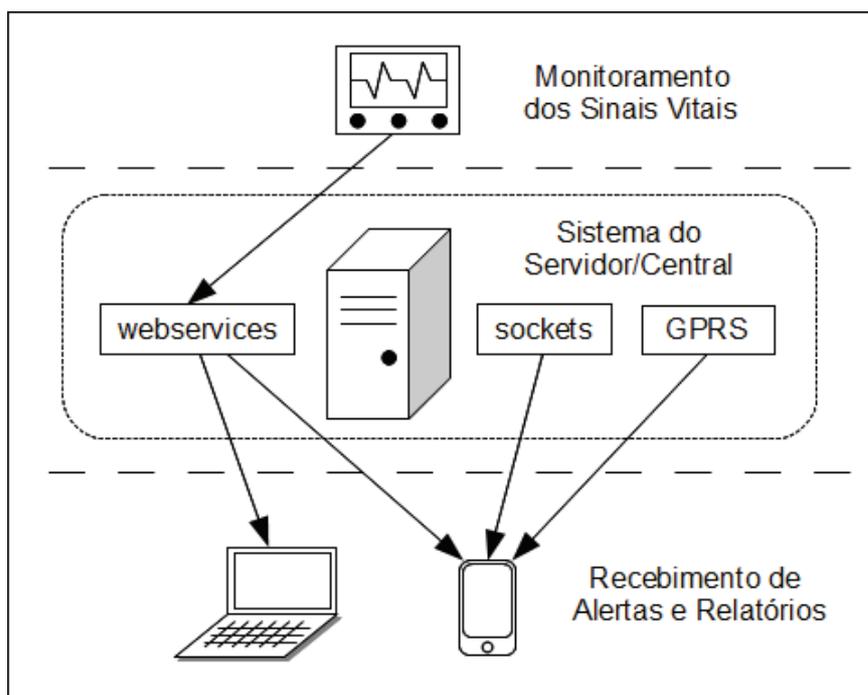
Entretanto, sistemas de controle e supervisão não são exclusividade de processos de manufatura. Araújo et al. (2012) propõe um modelo para um sistema de monitoramento de pacientes em ambiente hospitalar. A automação nos equipamentos desta área permite o desenvolvimento de projetos como este, que visa obter informações sobre os sinais vitais do paciente internados em Unidades de Terapia Intensiva (UTI) e enviar alertas para os dispositivos móveis das equipes médicas.

A arquitetura proposta por Araújo et al. (2012) integra diversos recursos como o envio de SMS para dispositivos móveis, o uso de RFID para a identificação da

equipe de saúde e a disponibilização de *web services* como interface independente de tecnologia para qualquer sistema com interesse em monitorar os pacientes. Roteadores WiFi conferem mobilidade à solução. Durante os testes, a solução se mostrou satisfatória em termos de tempo de resposta e quantidade de erros, que ficou zerada, configurando-se como uma solução adequada para a rápida tomada de decisão em caso de emergências.

Tanto a solução apresentada por Jorge Junior (2003) quanto a de Araújo et al. (2012) prezam pela geração de alertas para dar conhecimento aos responsáveis quanto a anormalidades em seus processos. Além disso, os dados coletados são armazenados para futuras consultas ou correlações, abrindo a possibilidade de aplicações gerenciais e estratégicas sobre os resultados. A Figura 2 mostra, de forma simplificada, a arquitetura apresentada por Araújo et al. (2012).

Figura 2 – Arquitetura de um sistema de monitoramento de sinais vitais



Fonte: Araújo et al. (2012)

A partir da observação das duas arquiteturas apresentadas pode-se perceber que o foco do trabalho de Jorge Junior (2003) está voltado mais para a infraestrutura da coleta de dados através da utilização de CLPs nas máquinas e sua disponibilização em um repositório centralizado. Já no trabalho de Araújo et al. (2012) reforça bastante a parte da solução responsável pela disponibilização dos

dados coletados através de relatórios e alertas em diferentes dispositivos. Portanto, ambos abordam o problema de envio de alertas às partes interessadas no processo mas se aprofundam em itens distintos no projeto e desta forma se complementam para a construção de uma ferramenta de monitoramento.

Na Figura 2 pode-se observar também a utilização de *web services* e *sockets* para a comunicação com os dispositivos móveis. Araújo et al. (2012) justifica a implementação de *sockets* por ser “um serviço de transporte confiável e com comunicação estável”, requisito indispensável devido a criticidade do sistema. Já o uso de *web services* visa “prover a interface de comunicação com qualquer outro sistema que esteja realizando o monitoramento de pacientes, possibilitando a comunicação de forma transparente e independente da tecnologia”.

Truong e Vu (2012) ratificam estas decisões de projeto em seu trabalho. Ele sugere “*to combine SOAP web service protocol to send and receive control information and Socket programming to transfer feedback monitoring data*”. O estudo realizado por Truong e Vu (2012) assemelha-se aos demais apresentados anteriormente uma vez que é composto por três partes fundamentais: a aquisição de dados, um servidor central que armazena e disponibiliza estes dados e dispositivos clientes para controle e monitoração. Portanto conclui-se que este é um modelo arquitetural defendido por diferentes estudos na área.

Apesar desta mesma arquitetura ser aplicada em áreas diversas à manufatura conforme já foi apresentado, Jorge Junior (2003) a nomeia como Sistema de Supervisão e define como “um conjunto composto por software e hardware cujo propósito é possibilitar o acompanhamento da produção com informações mais confiáveis e com um menor atraso”. É evidente o foco no sistema fabril proposto por Jorge Junior (2003), e pela proximidade ao objetivo deste trabalho, será a postura adotada também neste estudo. De uma forma mais detalhada, Jorge Junior (2003) define:

[...]Sistema de Supervisão traduz-se no monitoramento de variáveis de processo do chão de fábrica, tomados em tempo real e a transição desses dados monitorados a um sistema de visualização ou um banco de dados que permita alertar sobre problemas rapidamente, interpretá-los e gerar planos de ações quando necessários de forma a aprimorar o aprendizado desses problemas e trabalhar na minimização de problemas reincidentes, isto é, que auxilie na determinação da causa raiz.

Esta definição de Sistema de Supervisão mostra sua importância para o processo e evidencia sua característica estratégica para os objetivos da empresa, portanto é natural sua evolução para incorporação de dispositivos móveis à sua construção. A evolução tecnológica no campo de comunicações sem fio e *smartphones* além do barateamento do custo com hardware tem tornado os dispositivos móveis ótimos candidatos a terminais remotos em aplicações industriais (TRUONG; VU, 2012).

2.3 Windows Phone 8

Um sistema que envolva uma monitoração, seja dos sinais vitais de um paciente, seja de algumas máquinas em uma linha de produção, exige certa imersão do usuário no ambiente observado pois este usuário deverá estar atento a painéis luminosos ou telas de computadores ou ainda aguardando um sinal sonoro de seu aparelho celular. O sistema operacional pode contribuir com a experiência do usuário nestas situações. O Windows Phone OS possui uma filosofia particular que foca no conteúdo do usuário agregando informações e aplicações de forma conveniente ao usuário. Enquanto outros sistemas operacionais tratam as aplicações de forma isolada, o Windows Phone 8 preza por um modelo focado na experiência, ao invés do tradicional modelo focado na aplicação. Desta forma, quando um usuário do Windows Phone pretende, por exemplo, encontrar um contato, estará na verdade acessando um agregador de diversos provedores de contatos. Este tipo de experiência remete a sensação de imersão no conteúdo e este comportamento é estimulado pela infraestrutura do sistema operacional (WHITECHAPEL; MCKENNA, 2013).

Além disso, o sistema operacional para *smartphones* da Microsoft está em uma tendência de crescimento no número de vendas. Ainda longe de alcançar os líderes Android e iOS, o Windows Phone tende a ocupar em o terceiro lugar em breve. O Windows Phone encerrou 2012 com um crescimento de mais de 220% em relação ao final de 2011. Neste mesmo período o Blackberry OS teve uma queda de aproximadamente 45% em suas vendas (GARTNER, 2013).

As características mencionadas sobre o sistema operacional e as projeções de mercado foram os motivadores para a escolha do Windows Phone 8 como plataforma para este trabalho. Para um melhor entendimento da arquitetura e

recursos oferecidos por este sistema operacional, os parágrafos a seguir oferecem uma breve introdução sobre a plataforma.

A mudança mais significativa da versão 8 do Windows Phone em relação às versões anteriores é o compartilhamento do núcleo do sistema operacional com o Windows. Isto significa que as funções mais básicas do Windows 8 e Windows Phone 8 compartilham o mesmo código fonte além de muitas outras áreas destes sistemas operacionais que também são compartilhadas (WHITECHAPEL; MCKENNA, 2013).

Esta estratégia da Microsoft de compartilhamento da API demonstra claramente o interesse em convergir as plataformas de forma a criar uma experiência única para o usuário de Windows 8 e Windows Phone 8. Conhecer as similaridades no desenvolvimento de ambas as plataformas pode se tornar um diferencial na adoção do Windows Phone como plataforma alvo. Isto porque, pensando em uma aplicação corporativa, é provável que a solução envolva aplicações móveis e aplicações desktop. A consistência da interface já é um grande ponto positivo, mas o ganho é ainda maior considerando-se o reaproveitamento de conhecimento, ferramentas e código (REYES, 2013).

No que tange a distribuição de aplicações, o Windows Phone 8 trouxe algumas mudanças significativas quando comparado a versão 7.x. Agora a distribuição das aplicações não está mais restrita apenas à Windows Phone Store. Aplicações corporativas, como é o caso apresentado neste trabalho, podem agora ser distribuídas através de downloads no Internet Explorer, por email ou ainda instaladas através de cartão micro SD (WHITECHAPEL; MCKENNA, 2013).

3 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO

Esta seção descreve os passos adotados para o desenvolvimento de um sistema de supervisão para uma linha de produção através de dispositivos móveis. O foco principal desta solução é o desenvolvimento de uma aplicação que será executada em *smartphones* com sistema operacional Windows Phone 8, apesar dos conceitos aplicados não terem qualquer restrição quanto a plataforma. Para fins de prototipação, alguns elementos pertencentes à arquitetura completa da solução foram implementados, mas não serão aprofundados. A funcionalidade da aplicação foi limitada a fornecer algumas poucas informações da máquina monitorada sendo

suficiente para provar os conceitos apresentados. Um projeto completo consistiria da utilização da arquitetura e conceitos aqui apresentados cabendo ao projetista a tarefa de aprimorar e implementar outras necessidades do usuário. Desta forma este trabalho pode ser encarado como introdutório a futuros desenvolvimentos na área de controle de manufatura.

A seção Levantamento de Requisitos apresenta as necessidades criadas para uma linha de produção hipotética, correlaciona os trabalhos vistos no Referencial Teórico de forma a convergirem com a solução proposta e define as funcionalidades que serão prototipadas.

A sessão Tecnologias Utilizadas detalha o hardware e software empregado no desenvolvimento do protótipo.

Em Projeto e Arquitetura são exibidos os artefatos que levaram a estruturação da aplicação, desde uma visão macro até especificidades do software implementado.

Por fim, a seção de Testes descreve a condução dos testes de integração da aplicação apontando as impressões obtidas.

3.1 Levantamento de Requisitos

Partindo do objetivo principal deste trabalho que é o desenvolvimento de uma aplicação para o monitoramento remoto de linhas de produção através de um dispositivo móvel, foram elaborados os requisitos que guiarão o restante do desenvolvimento.

A solução foi inspirada no conceito da ferramenta Andon, portanto a aplicação deve fornecer uma visão geral da linha de produção, exibindo de forma simples e intuitiva a situação de cada máquina. O dispositivo móvel funcionará de forma análoga aos painéis luminosos propostos pelo Andon e terá o mesmo propósito, que é manter a equipe ciente da situação da linha e fornecer aos responsáveis subsídios para tomadas de decisões rápidas.

Algumas implementações do Andon propõem o acionamento dos indicadores luminosos através de botoeiras. Nesta solução os alarmes são provenientes do CLP e são gerados automaticamente no caso de paradas de máquinas ou manualmente pelo operador da máquina caso seja necessário. Para este último caso uma série de alarmes pré-definidos são disponibilizados, agilizando a interação do operador da

máquina no momento de justificar uma parada ou quando deseja informar uma situação de parada iminente. Além disso, a categorização dos alarmes facilita seu uso para fins estatísticos em relatórios táticos. Um usuário também poderá gerar alarmes para uma máquina a partir de sua aplicação em seu dispositivo móvel. Isto permite, por exemplo, que um funcionário de determinado nível de suporte solicite outra especialidade de suporte ou que um supervisor ao visualizar o nível baixo de matéria prima informe uma parada em potencial da linha de produção.

O Andon pode ser uma importante fonte de dados, complementar a tantas outras já usadas em processos produtivos, como quantidade de peças defeituosas, produtividade, segurança e qualidade. A partir de uma base histórica de alarmes provenientes de sistemas Andons dados podem ser visualizados em gráficos e analisados através de Pareto identificando assim os motivos mais comuns de paradas da linha de produção (LIKER, 2005).

A ideia de controle visual vai além do conceito de Andon. O propósito do princípio ao qual esta ferramenta pertence é melhorar o fluxo de trabalho. Quando a ferramenta mostra que o fluxo de trabalho está sendo comprometido, uma ação pode ser tomada e o controle visual ajuda para que isto ocorra o mais cedo possível (LIKER, 2005).

A partir deste conceito, mostra-se interessante a implementação de um controle da quantidade de peças produzidas em um determinado espaço de tempo, relacionado à quantidade esperada para este mesmo período. Sendo assim, a aplicação permite que o usuário cadastre a quantidade esperada de peças a serem produzidas por hora. Durante a produção, a quantidade de peças produzidas é atualizada constantemente na aplicação, permitindo ao usuário constatar se a máquina está atendendo as metas propostas. Serão usadas cores a fim de destacar desvios dos objetivos e gráficos para tornar a visualização das informações mais amigável.

A motivação para estes requisitos está baseada nas características e ganhos que podem ser obtidos com controles visuais adotados no Sistema Toyota de Produção, contudo a solução difere das implementações exemplificadas na literatura. Estas geralmente citam painéis luminosos, cartões coloridos ou quadros espalhados pela fabrica. Neste trabalho estes recursos são inseridos em dispositivos móveis, o que confere a visibilidade necessária sob uma nova perspectiva. Pode-se pensar nas soluções propostas pela literatura como recursos arcaicos de ubiquidade

sendo assim um alvo com grande potencial para tecnologias baseadas em computação móvel. A ideia de painéis e quadros distribuídos pela fábrica não precisam ser necessariamente abandonadas, mas podem ser modernizadas com o uso de monitores ligados ao mesmo sistema que fornece os dados ao dispositivo móvel em questão.

Para mostrar a utilização da aplicação proposta em um contexto diferente ao controle de fluxo de trabalho foi escolhido um indicador de qualidade para fazer parte dos dados que estão à disposição do usuário.

A confiabilidade é citada por alguns autores como prioridade competitiva na estratégia de manufatura. Através da análise de indicadores como este, podem ser tomadas decisões quanto a planejamento de manutenção de máquinas, por exemplo. Neste contexto, confiabilidade pode ser definida e exemplificada conforme segue:

Confiabilidade é a probabilidade de que um sistema (equipamento, componente, peça, software, pessoa) dê como resposta aquilo que dele se espera, durante um certo período de tempo e sob certas condições. Assim, quando entramos em nosso carro e damos partida, esperamos que ele pegue. Quanto mais vezes ele pegar, em relação ao número de tentativas, mais confiável ele será (estamos nos referindo apenas à partida). Assim, se em 1.000 vezes que damos a partida em nosso carro, ele pega 995, dizemos que sua confiabilidade é de 0,995 ou 99,5%. (MARTINS;LAUGENI, 2005, p. 518, grifo do autor).

Considerando o sistema citado como a máquina que se está monitorando, uma forma usual de se medir sua confiabilidade é através do indicador chamado Tempo Médio Entre Falhas (TMEF). O TMEF é definido conforme a fórmula a seguir (MARTINS; LAUGENI, 2005):

$$TMEF = \frac{TDD - TNO}{F}$$

Em que:

TDD = tempo total disponível

TNO = tempo não operacional

F = número de falhas no tempo total disponível

Conhecido o TMEF é possível obter outros indicadores úteis para tomadas de decisão, como a equação da confiabilidade de um componente (MARTINS; LAUGENI, 2005):

$$R = e^{-\left(\frac{t}{TMEF}\right)}$$

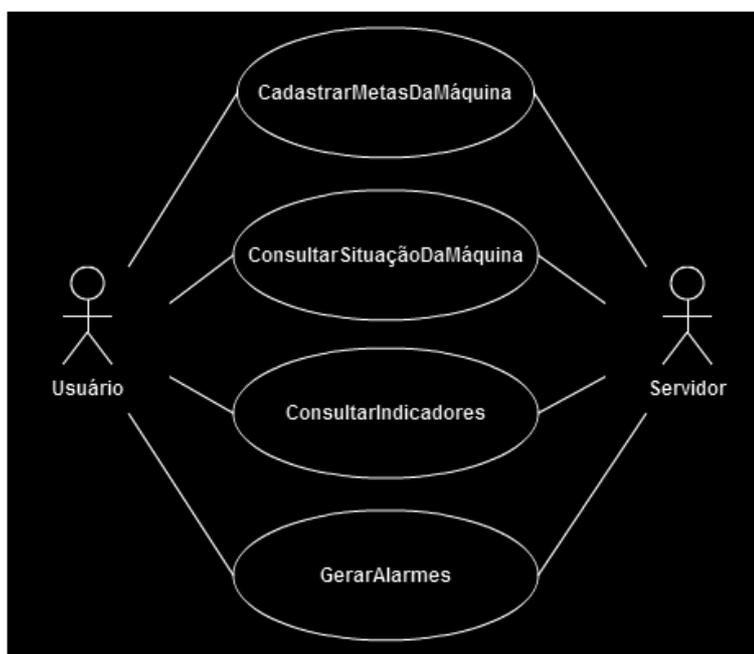
Em que:

R = confiabilidade ou probabilidade de não apresentar falha até o instante t

Como a aplicação é alimentada constantemente com as variáveis das fórmulas apresentadas, é possível exibir a confiabilidade atualizada da máquina em razão de seu tempo de operação e histórico de tempos médio entre falhas.

Delimitado o escopo da aplicação, é possível defini-la em termos de casos de uso. A Figura 3 exibe o diagrama de casos de uso da aplicação que será instalada no dispositivo móvel.

Figura 3 – Diagrama de casos de uso da solução proposta



Fonte: O autor

Apesar da solução como um todo ser mais abrangente do que o diagrama apresentado, este trabalho se restringe a definição da aplicação móvel. Devido à simplicidade dos casos de uso, as narrativas foram suprimidas.

3.2 Tecnologias Utilizadas

Esta sessão descreve os equipamentos e programas utilizados no desenvolvimento do protótipo.

Foi utilizado um CLP Eaton modelo XV-102-D6-57TVRC-10 cujo objetivo é simular uma máquina da linha de produção. Este CLP é equipado com uma Interface Homem Máquina (IHM) incorporada que permite a interação com o usuário para a geração de alarmes. O CLP é interligado à porta serial um notebook através de um cabo RS232.

O notebook é da marca Dell Vostro 3500 equipado com um processador Intel Core i5 2.66GHz e 4GB de memória RAM e sistema operacional Microsoft Windows 8. Seu objetivo é atuar como um servidor que armazenará em um banco de dados SQL Server 2012 as informações fornecidas pelo CLP, processará estas informações e as disponibilizará para consulta pelo dispositivo móvel. Possui o web server IIS 8 e o framework Microsoft .NET 4.0, softwares necessários para o funcionamento do aplicativo que fará a comunicação entre o CLP e o notebook além da disponibilização dos *web services* que serão consumidos pela aplicação do dispositivo móvel.

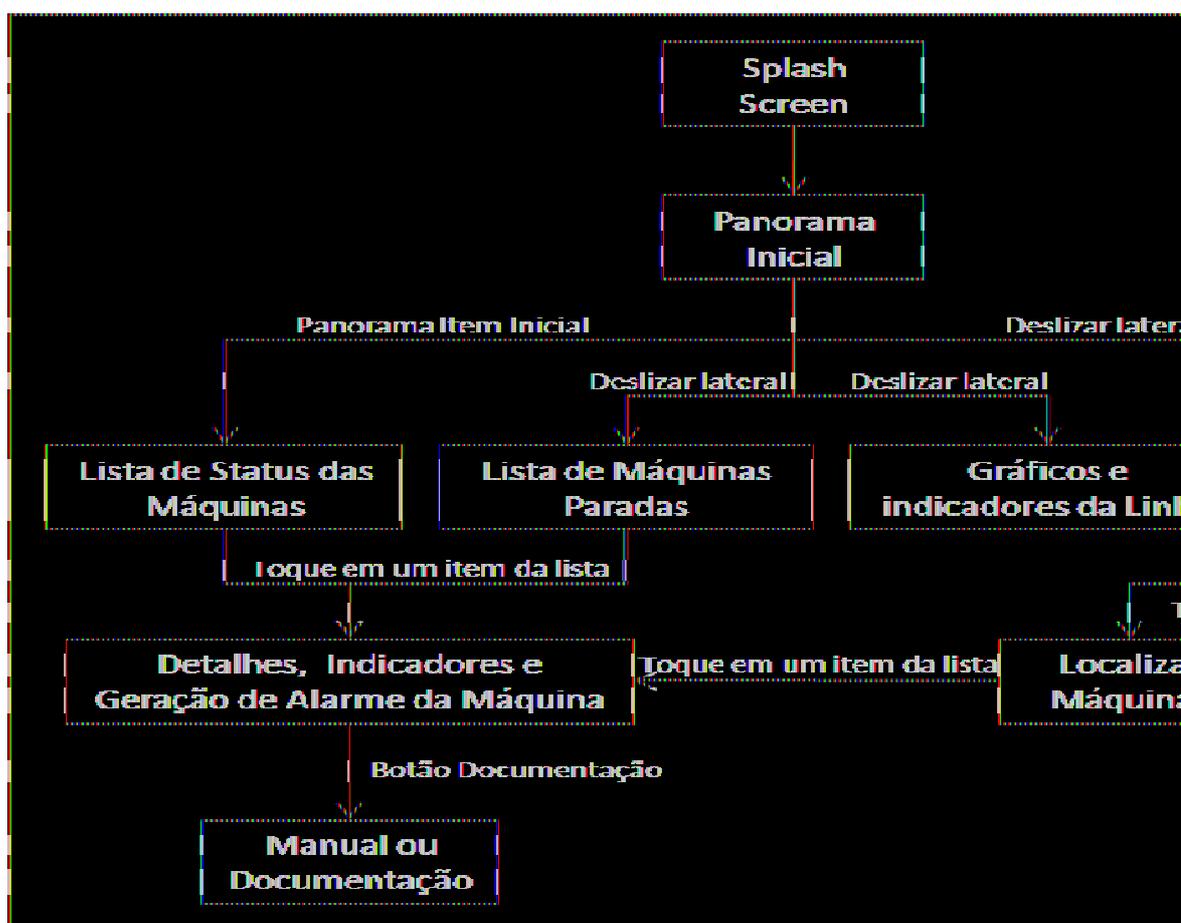
Um roteador Cisco Linksys WRT160N compatível com os protocolos 802.11b/g/n foi utilizado para simular a rede entre o dispositivo móvel e o notebook.

Como dispositivo móvel foi adotado um *smartphone* Nokia Lumia 720 com processador Snapdragon dual-core com 1 GHz, 512MB de memória RAM e rodando o sistema operacional Microsoft Windows Phone 8.

3.3 Projeto e Arquitetura

Esta seção descreve a solução completa, entretanto o foco é a aplicação desenvolvida para dispositivos móveis. Com o objetivo de fornecer uma visão de alto nível sobre as funcionalidades da aplicação, a Figura 4 apresenta o diagrama de fluxo de interface com o usuário.

Figura 4 – Diagrama de fluxo de interface

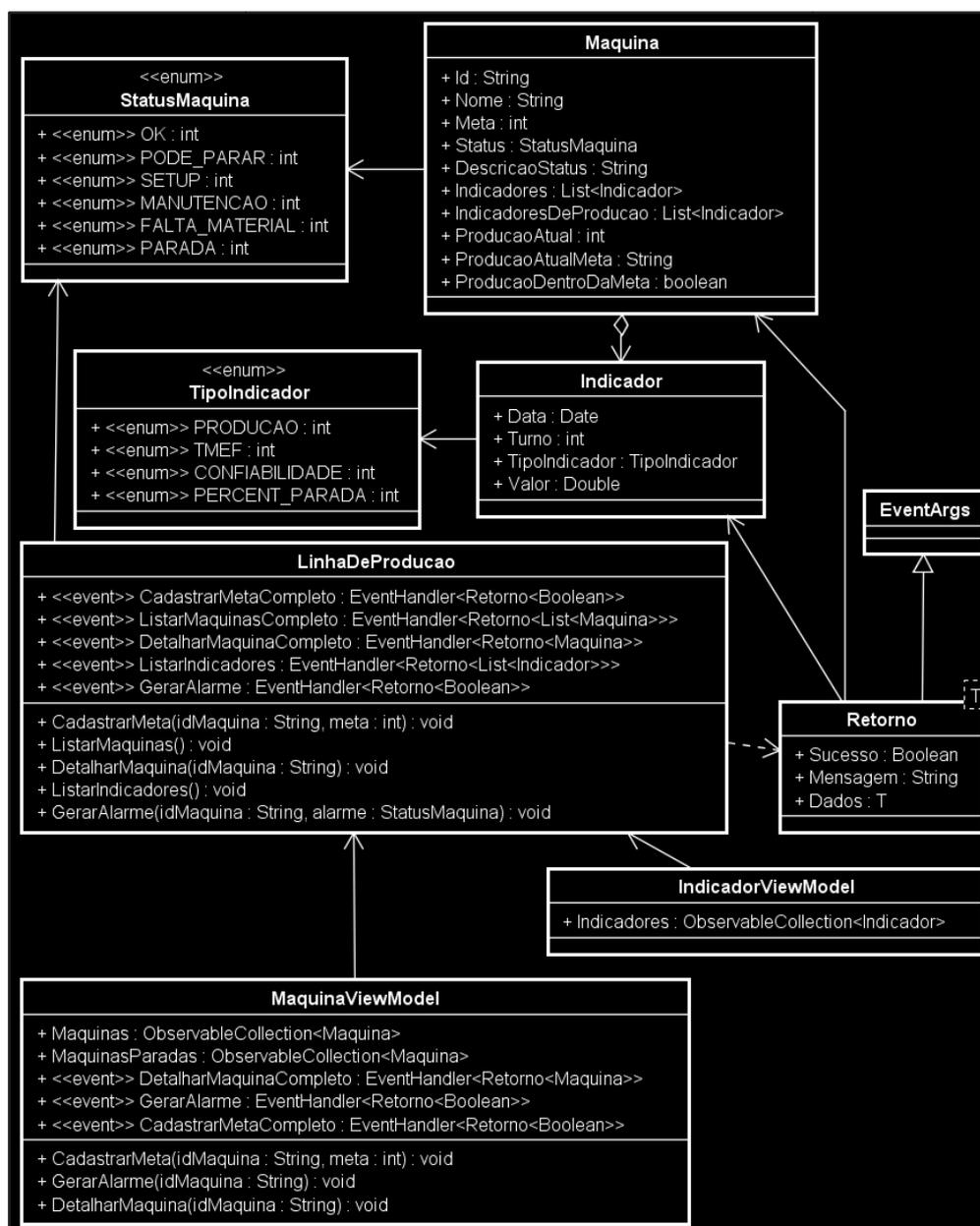


Fonte: O autor

A aplicação usa como recurso para tela inicial o componente chamado Panorama. Trata-se de um controle típico do Windows Phone 8 que proporciona uma experiência bastante característica desta plataforma. Este controle cria o efeito de uma grande tela com rolagem horizontal.

A Figura 5 apresenta diagrama de classes da aplicação. Para um melhor entendimento foram suprimidas as classes *codebehind* da interface gráfica, uma vez que não traria ganhos ao entendimento da solução. O projeto de classes procurou tirar proveito dos padrões utilizados para desenvolvimento com Silverlight. Este tipo de aplicação utiliza bastante o conceito de eventos para manipulação da interação do usuário com a tela.

Figura 5 – Diagrama de classes



Fonte: O autor

Os programas baseados em Silverlight não são propícios a utilizarem padrões de projeto como MVC (*Model-View-Controller*) ou MVP (*Model-View-Presenter*) dadas as particularidades dos elementos de interface desta plataforma de desenvolvimento. Os artefatos de interface são identificados pela extensão XAML e são estruturados no formato de XML o que fornece certa independência entre a camada de interface da aplicação (*view*) e os dados (*model*). Contudo, a natureza da plataforma lança mão de recursos como amarração de dados (*data binding*), que possibilita a atualização da *view* toda vez que os dados forem atualizados. Além

disso, gatilhos (*triggers*) podem ser disparados para identificar uma interação do usuário com a *view* (WILDERMUTH, 2009).

A partir destas observações é possível identificar que, apesar da flexibilidade incorporada pela interface baseada em XML, os programas baseados em Silverlight têm um forte acoplamento entre a *view* e o código fonte para tratamento da tela. Por isto, a camada de visão é composta pelo código XAML e código C# (WILDERMUTH, 2009).

Para atender esta demanda por um padrão de projeto adequado a estas particularidades foi desenvolvido o MVVM, sigla para *Model-View-ViewModel*. Este padrão está diretamente ligado aos padrões MVC e MVP, entretanto suporta o desenvolvimento em linguagens orientadas e eventos ou que façam uso de *data binding* para a atualização da *view*, como é o caso do Silverlight (WILDERMUTH, 2009).

No MVVM o *Controller* do MVC é substituído pelo artefato *ViewModel*. Isto se justifica devido ao fato de um controlador não ser mais necessário para a atualização da interface, já que a amarração do *model* com a *view* exerce este papel. Contudo, faz-se necessária a criação de uma estrutura que prepare os dados para serem disponibilizados para a interface, e este é o papel do *ViewModel*.

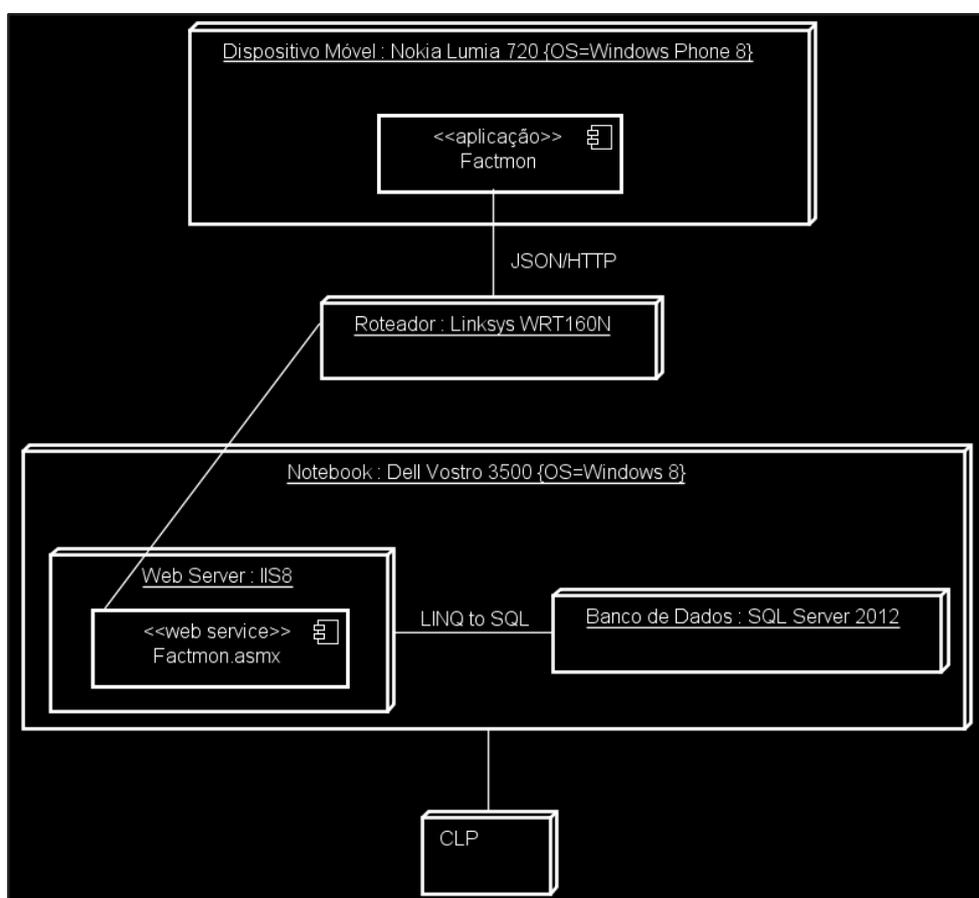
Uma das premissas da solução proposta é disponibilizar as informações coletadas das máquinas por toda a fábrica e fora dela, abrindo a possibilidade de implementações de sistemas de monitoração em diferentes dispositivos além do abrangido neste trabalho. Este requisito foi definitivo para a definição da interface através de *web services* entre o dispositivo móvel e o equipamento que se está monitorando. Com o uso de *web services* a disponibilidade de informações torna-se praticamente irrestrita em termos geográficos, sendo assim um ponto de partida para futuros projetos.

Alternativas foram consideradas, como a criação de *socket* entre o dispositivo móvel e as máquinas monitoradas, conforme proposto por Araújo et al. (2012), mas logo foram descartadas pois não é o propósito deste trabalho obter informações tão críticas quanto as coletadas em sistemas de suporte a vida nem atualizadas em sistemas de tempo real. Considerando este contexto, a flexibilidade oferecida por *web services* torna-se muito mais vantajosa termos de projeto do que a arquitetura baseada em *sockets*.

A Figura 6 fornece uma visão ampla da solução através de um diagrama de implantação, oferecendo detalhes do hardware e software empregados na construção do protótipo.

Como pode ser visto no diagrama acima, a aplicação espera que o servidor retorne dados no formato JSON, sigla para *Java Script Object Notation*. Trata-se de um formato bastante utilizado em aplicações web e foi escolhido devido a simplicidade que é tratado pelo framework .NET.

Figura 6 – Diagrama de implantação



Fonte: O autor

A plataforma .NET oferece recursos para converter dados do formato JSON para instâncias de classes .NET. Desta forma, as mesmas classes que são usadas para o tráfego de dados entre as camadas da aplicação até a interface podem ser usadas para mapear os dados vindos do servidor no formato JSON. Para que isto seja possível, basta identificar as classes que serão mapeadas com o atributo *DataContract* e os campos da classe com o atributo *DataMember*, obedecendo à

nomenclatura utilizada nos dados retornados do servidor. Ambos os atributos pertencem ao *namespace System.Runtime.Serialization*.

A conversão efetivamente é realizada pela classe *DataContractJsonSerializer*, que pertence ao *namespace System.Runtime.Serialization.Json* e permite tanto a serialização de um objeto .NET para o formato JSON quanto o caminho inverso.

3.4 Testes

Os testes foram divididos em duas etapas. Em uma destas etapas a aplicação foi submetida ao crivo de usuários em potencial da aplicação. A impressão destes usuários foi registrada através de um questionário e será apresentado ao final desta seção. Além disso, foi realizada uma navegação por toda a aplicação, passando por todas suas funcionalidades e gerando capturas de telas.

A Figura 7 apresenta a tela inicial da aplicação. Esta tela é composta por um controle Panorama que passa ao usuário a experiência de uma grande tela com rolagem lateral composta por quatro subdivisões. Na primeira delas, intitulada "Todas" é exibida uma lista com todas as máquinas monitoradas. As cores de fundo representam a situação da máquina. Ao centro, em destaque é exibida a produção atual e meta. Quando a produção está abaixo da meta, este valor aparece em destaque. Além disso, é exibido o identificador, nome e descrição da situação da máquina.

Figura 7 – Tela inicial da aplicação implementada com o controle Panorama



Fonte: O autor

A divisão "Paradas" é um filtro que exibe apenas as máquinas que não estão produzindo. Para efetuar este filtro não foi necessário efetuar uma nova requisição ao servidor a fim de buscar os dados. Como as máquinas já tinham sido carregadas para a exibição na lista "Todas", apenas foi necessário efetuar um filtro sobre a coleção de Máquinas para obter as máquinas paradas. Este é um bom exemplo do uso de Linq, que é um recurso do framework .NET que permite a execução de operações sobre coleções de dados em um formato semelhante ao SQL.

Em "Gráfico" é exibida uma visão gráfica, proporcional, da produção total da linha de produção em relação à meta. Para acessar outras opções da aplicação é disponibilizada a opção "Menu".

Quando uma máquina é selecionada na lista de máquinas, o usuário é desviado para a visualização de detalhes da máquina, conforme Figura 8. Nesta pode-se ver alguns dados e indicadores da máquina. É possível também visualizar o manual ou alguma documentação pertinente, além de ser possível disparar um alarme de parada iminente, caso o usuário deseje comunicar a todos que a máquina está prestes a parar.

Figura 8 – Tela de detalhes da máquina



Fonte: O autor

No caso de muitas máquinas estarem sendo monitoradas pela aplicação, é pertinente uma opção de filtro. Isto é possível acessando o menu "Buscar Maquinas". A Figura 9 representa a tela que será exibida neste caso. Nela o usuário

pode informar o identificador, nome ou parte deles para encontrar uma máquina dentre aquelas que estão sendo monitoradas.

Figura 9 – Tela de buscar máquinas



Fonte: O autor

Pode ainda ser conveniente ao usuário alterar a meta de produção de uma máquina, devido a uma troca de peça produzida, por exemplo. Para isto, o acesso ao menu "Cadastrar Meta" exibirá uma tela conforme a Figura 10.

Figura 10 – Tela de cadastramento de metas



Fonte: O autor

Estando funcional a aplicação, uma versão do protótipo rodando em um aparelho Nokia Lumia 720 foi disponibilizada para que fosse testada por sete usuários habituados com a rotina industrial. Esta versão da aplicação apresenta dados fictícios, sem comunicação com nenhum provedor de dados, uma vez que seria inviável montar um ambiente com dados reais que pudessem ser acessados por estes usuários. Após uma breve introdução da aplicação, os usuários foram estimulados a navegar livremente. Um questionário foi então apresentado para que suas percepções fossem registradas em uma escala de 1 a 5, sendo a nota 1 considerada como “não atende” e 5 como “atende completamente”. A compilação dos resultados é apresentada na tabela 1. As colunas referentes às notas 1 e 2 foram suprimidas por não terem dados.

Tabela 1 – Compilação do questionário de testes da aplicação

Questão	Avaliação		
	3	4	5
A aplicação oferece uma visão clara e intuitiva sobre a situação atual de uma linha de produção no que se refere à quantidade de peças produzidas, metas e situação das máquinas.	14%	43%	43%
A aplicação tem potencial para contribuir com a redução do tempo de máquinas paradas e aumentar a produtividade da empresa.	-	29%	71%
Esta aplicação tem potencial para agregar outros serviços que possam contribuir na rotina dentro de uma linha de produção	-	43%	57%
Esta aplicação seria incorporada facilmente e traria ganhos à minha rotina diária no processo produtivo.	14%	72%	14%
Qual a sua percepção geral sobre a aplicação nos aspectos de aparência e interação com o usuário?	-	86%	14%
Como você avalia seu domínio sobre o aplicativo após usá-lo?	-	71%	29%

Fonte: O autor

Como pode ser observado, a aplicação teve uma boa aceitação entre os usuários, sendo um indicador de que a aplicação cumpre o objetivo proposto.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho abordou o desenvolvimento de uma aplicação para dispositivos móveis contextualizado em um ambiente de manufatura. Para delimitar o escopo, foi definido como principal objetivo a criação de uma aplicação capaz de coletar os dados de uma linha de produção e divulgá-las entre os interessados de modo a melhorar o processo produtivo. Como o principal interesse em qualquer processo de manufatura é a produtividade, a solução adotada focou em manter os usuário informados acerca da situação das máquinas e produção atual, adotando uma interface intuitiva e direcionada a um entendimento rápido. Com isto, os usuários têm condições intervir no processo o mais breve possível com o objetivo de atingir suas metas de produção.

Pode-se observar que este objetivo converge com os propósitos e benefícios da computação móvel. Graças a ela, um usuário tem um alto poder de processamento e filtro de informações literalmente na palma de sua mão. Tarefas que até então exigiriam horas de compilação de informações espalhadas em planilhas de controle espalhadas pela fábrica agora podem ser obtidas instantaneamente e observadas sob diferentes pontos de vista.

A fim de fundamentar o uso de sistemas de informação para a supervisão de linhas de produção e a aplicação de dispositivos móveis como um canal de monitoração foram apresentados trabalhos relacionados a estes interesses, como um sistema de supervisão que centraliza informações de várias máquinas de uma linha de produção e disponibiliza alertas inspirados na ferramenta de gestão visual Andon. Esse trabalho inspirou este artigo no que se refere à aplicação de sistemas de informação com implementação de gestão visual no controle de linhas de produção, mas deu margem a escolha da interface com o usuário. Outro artigo trouxe a figura do dispositivo móvel no papel de meio de comunicação com aquele usuário que receberá os alertas. Nesse, um celular foi usado como ferramenta para o recebimento de alertas sobre pacientes na UTI além do recebimento de relatórios e outras informações. A criticidade dessa aplicação, por si só já é suficiente para se ter uma ideia das dimensões que uma aplicação móvel pode atender. A união das ideias propostas nestes dois trabalhos foi fundamental para o delineamento do tema deste artigo.

O passo seguinte consistiu da escolha da plataforma. Dado o crescimento em número de vendas e tendência a se estabelecer na terceira posição no mercado de sistemas operacionais para *smartphones*, o Windows Phone 8 foi adotado para a confecção do protótipo. Apesar de ainda estar distante dos líderes no segmento, o Windows Phone 8 conta com o nome da Microsoft e pesquisas que apontam seu crescimento nos próximos anos. Não seria estranho ver esta marca com presença massiva em ambientes corporativos.

Por fim, os testes mostraram que o protótipo atendeu bem às exigências de manter o usuário informado sobre a situação geral da fábrica. Alguns usuários habituados ao ambiente foco da aplicação gentilmente se dispuseram a testá-la e com avaliações satisfatórias aprovaram a solução. Esta etapa foi importante para captar a impressão de usuários em potencial da aplicação, além de obter sugestões de melhorias e de futuras implementações.

Quando se fala em possibilidades de futuras implementações, a área de manufatura é farta em opções. Este trabalho focou em um pequeno escopo, mas com margem ainda para agregar novas funcionalidades.

Como o propósito principal da aplicação está em manter a disponibilidade da linha da produção, é natural a sua evolução para oferecer mais recursos relacionados a manutenção da linha. Neste sentido é bastante propícia a criação de um histórico de atendimentos a uma máquina. Na tela de detalhes da máquina o usuário teria acesso a uma opção que traria um histórico de atendimentos. Neste histórico seriam disponibilizados dados importantes sobre manutenções realizadas além de fotos que pudessem contribuir para o entendimento. Este próprio histórico poderia ser populado através da aplicação e lançando mão da câmera do aparelho para gerar as imagens.

Ainda no quesito controle de manutenção, a aplicação pode ser usada como um controle para planos de manutenção preventiva. O usuário acessaria um *checklist* do que deve ser verificado e quando, podendo inclusive receber alertas para isto. O aceite do *checklist* pode ser vinculado ao usuário que realizou a manutenção preventiva. Além disso, podem ser adicionados mecanismos de controle como GPS, NFC ou QR Code para certificar que o usuário estava próximo a máquina no momento da manutenção, além da data e hora para averiguar se aquela máquina estava mesmo parada durante a manutenção. Isto tudo alimentaria o histórico de manutenção da máquina proposto no parágrafo anterior.

Não só o nível operacional e tático poderia ser beneficiar desta aplicação, mas também o estratégico, uma vez que preciosos indicadores podem ser extraídos a partir de informações como tempo de máquina parada, produção entre outros. Sendo assim, uma seção de gráficos, relatórios e indicadores é muito bem vinda. Neste sentido cabe aprofundar os conhecimentos em quais indicadores são apreciados pelos gestores e como obtê-los dinamicamente.

É evidente que o propósito neste momento não é esgotar o assunto sobre futuras implementações, mas abrir um leque de novas ideias. Com este trabalho, um passo importante foi dado rumo a um mercado com vastas possibilidades.

MOBILE COMPUTING APPLIED AS A SYSTEM OF SUPERVISION OF INDUSTRIAL MANUFACTURING PROCESSES

Abstract: The objective of this paper is to present a solution developed with mobile computing resources to control the manufacturing process industry, following the availability and efficiency of machines in a production line manufacturing. The method adopted the literature for the presentation of concepts related to our research and contextualization of the problem and solution. A functional prototype developed on the Windows Phone platform was developed in order to propose a solution to the problem proposed. Finally, it is concluded that the application of mobile computing as a resource for remote monitoring of automated manufacturing processes can provide competitive advantages for the company at a low cost.

Keywords: Mobile Computing. Manufacturing. Automation. Windows Phone.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Bruno Gomes de et al. Modelo arquitetural para geração de alertas aplicado ao monitoramento de pacientes em ambiente hospitalar. **Rev. Bras. Eng. Bioméd.**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 2, jun. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-31512012000200007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 10 jul. 2013.

GARTNER. **Gartner Says Worldwide PC, Tablet and Mobile Phone Combined Shipments to Reach 2.4 Billion Units in 2013**. 2013. Disponível em: <<http://www.gartner.com/newsroom/id/2408515>>. Acesso em: 10 set. 2013.

GARTNER. **Gartner Says Worldwide Mobile Phone Sales Declined 1.7 Percent in 2012**. 2013. Disponível em: <<http://www.gartner.com/newsroom/id/2335616>>. Acesso em: 13 set. 2013.

JORGE JUNIOR, Roberto. **Análise da aplicação do sistema Andon em diferentes ambientes de montagem**. 2003. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) -- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2003. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000307075>>. Acesso em: 7 jun. 2013.

LIKER, Jeffrey K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

MARTINS, Petrônio G.; LAUGENI, Fernando P. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

MATEUS, Geraldo R.; LOUREIRO, Antonio A. F. **Introdução à Computação Móvel**. 1998. Disponível em: <http://homepages.dcc.ufmg.br/~loureiro/cm/docs/cm_livro_1e.pdf>. Acesso em: 10 set. 2013.

REYES, Joel. Building Apps for Windows 8 and Windows Phone 8. **MSDN Magazine**. jul. 2013. Disponível em: <<http://msdn.microsoft.com/en-us/magazine/dn296517.aspx>>. Acesso em: 14 set. 2013.

SATYANARAYANAN, M. **Pervasive Computing: Vision and Challenges**. 2001. Disponível em: <<http://www.cs.cmu.edu/~satya/docdir/satya-ieeeecs-2001.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2013.

SATYANARAYANAN, M. **Mobile Computing: the Next Decade**. 2010. Disponível em: <<http://www.cs.cmu.edu/~satya/docdir/satya-mobicloud-2010.pdf>>. Acesso em: 06 set. 2013.

TRUONG, Nguyen-Vu; VU, Duc-Lung. **Remote Monitoring and Control of Industrial Process Via Wireless Network and Android Platform**. In: 2012 International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS), Saigon, Vietnam: Institute of Applied Mechanics and Informatics, 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=6466614>>. Acesso em: 12 jul. 2013.

WHITECHAPEL, Andrew; MCKENNA, Sean. **Windows Phone 8 Development Internals**. Microsoft Press, 2012.

WILDERMUTH, Shawn. Model-View-ViewModel In Silverlight 2 Apps. **MSDN Magazine**. mar. 2009. Disponível em: <<http://msdn.microsoft.com/en-us/magazine/dd458800.aspx>>. Acesso em: 05 ago. 2013.