

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS COMPUTACIONAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO  
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Dissertação de Mestrado

**UMA ARQUITETURA PERSUASIVA BASEADA EM  
SISTEMAS CIBER-FÍSICOS**

Jonas Casarin

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal do Rio Grande, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Computação

Orientador: Profa. Dra. Silvia Silva da Costa Botelho

Rio Grande, 2016

Ficha catalográfica

C335a Casarin, Jonas

UMA ARQUITETURA PERSUASIVA BASEADA EM  
SISTEMAS CIBER-FÍSICOS / Jonas Casarin. – 2016.

129 f

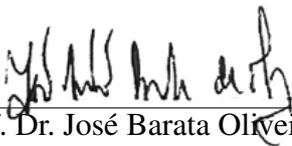
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande–  
Programa de Pós-Graduação em Computação, Rio Grande/RS,  
2016.

Orientadora: Dr<sup>a</sup> Silvia Silva da Costa Botelho.

1. Persuasão. 2. Tecnologias persuasivas. 3. Otimização.  
4. Sistemas persuasivos. I. Botelho, Silvia Silva da Costa.  
II. Título.

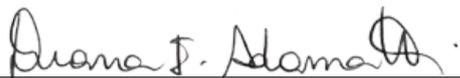
CDU 004.5

**Banca examinadora:**



---

Prof. Dr. José Barata Oliveira



---

Profa. Dra. Diana Francisca Adamatti

*Dedico este trabalho a todas as pessoas que ao longo desses dois anos contribuíram  
para a construção do meu saber*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me concedido o dom da vida, e por ter me ensinado e dado forças para superar os obstáculos. Aos meus pais, pelo carinho e confiança dedicados todos esses anos. Minha orientadora Silva Silva da Costa Botelho pelo incentivo. Aos meus amigos, obrigado pela amizade e companheirismo. A equipe do projeto SapiEns, obrigado pela dedicação e esforço durante estes dois anos de trabalho. E a todos que tenham contribuído de forma direta ou indireta para a realização desse trabalho, meus sinceros agradecimentos.

*Seja a mudança que queres ver no mundo!!!*  
— MAHATMA GANDHI

## RESUMO

CASARIN, Jonas. **UMA ARQUITETURA PERSUASIVA BASEADA EM SISTEMAS CIBER-FÍSICOS**. 2016. 129 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Computação. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.

Atualmente é necessário buscar diferentes práticas para desenvolvimento de tecnologias persuasivas, denominadas como Captologia. A Captologia é o estudo da persuasão relacionada à utilização da computação, com objetivo de influenciar a mudança de comportamento ou atitudes das pessoas. Este trabalho tem como objetivo a proposta de uma arquitetura persuasiva baseada em *Cyber-Physical Systems* (CPS). A arquitetura é composta por seis diferentes camadas, as quais possuem diferentes módulos. Estes módulos fornecem as premissas para viabilizar a implementação de sistemas persuasivos. Além disso, esta arquitetura pode ser aplicada no desenvolvimento de sistemas persuasivos em diversas áreas, tais como: Saúde, Educação, Sustentabilidade Ambiental, entre outras. A arquitetura é validada por meio da implementação de um sistema persuasivo denominado SapiEns, cujo objetivo é reduzir o impacto ambiental relacionado a emissão de CO<sub>2</sub>, e ainda, otimizar o consumo de energia no setor residencial utilizando persuasão. Testes foram executados para verificar a performance do sistema. Os resultados alcançados neste estudo atingiram um nível sub-ótimo. Isto por que necessita ser avaliado um maior número de residências para conclusões nível ótimo. Por fim, a partir do sistema adotado, pode-se ampliar a visão sobre a utilização desta arquitetura para o desenvolvimento de outros tipos de sistemas persuasivos, permitindo no futuro, por meio destas experiências, ações muito mais amplas em diversos ambientes.

**Palavras-chave:** Persuasão, tecnologias persuasivas, otimização, sistemas persuasivos.

## ABSTRACT

CASARIN, Jonas. **A persuasive architecture based on cyber-physical systems.** 2016. 129 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Computação. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.

Currently it is necessary to seek different practices for the development of persuasive technologies, referred to as Captologia. The Captologia is the study of persuasion related to the use of computing in order to influence a change in behavior or attitudes. This paper aims to draft a persuasive architecture based on cyber-physical systems (CPS). The architecture consists of six different layers, which have different modules. These modules provide the premises to enable implementation of persuasive systems. Moreover this architecture can be applied in developing persuasive systems in several areas, such as health, education, environmental sustainability, among others. The architecture is validated through the implementation of a persuasive system called SapiEns aimed at reducing the environmental impact related to CO<sub>2</sub> emissions and optimize energy consumption in the residential sector using persuasion. Tests are being performed to verify system performance. The results achieved in this study achieved a sub-optimal level. This is because a greater number of residences to better conclusions needs to be evaluated. Finally, the adopted system can be broader view of the utilization of this architecture for the development of other types of persuasive systems, allowing the future via these experiments much wider actions in different environments.

**Keywords:** Persuasion, persuasive technologies, optimization, persuasive systems, architecture, *triggers*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	O Modelo de Comportamento de Fogg e seus três fatores: motivação, habilidade e gatilho adaptado de [FOGG, 2015a] . . . . .	25
Figura 2	Sistemas Ciber-físicos: Mapa Conceitual [Asare et al., 2012] . . . . .	32
Figura 3	Arquitetura CPS proposta por [Tan et al., 2008] . . . . .	36
Figura 4	Arquitetura CPS proposta por [Akanmu et al., 2013] . . . . .	38
Figura 5	Arquitetura Lógica Modularizada CPeSC <sup>3</sup> [Wang et al., 2011] . . . . .	40
Figura 6	Arquitetura OMNE proposta por [Botelho, 2015] . . . . .	42
Figura 7	Arquitetura persuasiva baseada em CPS . . . . .	48
Figura 8	Subscrição de tópico ao broker [JAFHEY, 2014] . . . . .	50
Figura 9	Arquitetura OpenHAB <a href="http://www.openhab.org/features/architecture.html">http://www.openhab.org/features/architecture.html</a> 52	
Figura 10	Fluxograma de representação do funcionamento do agente persuasivo.	65
Figura 11	Arquitetura Persuasiva Baseada em CPS utilizada no Projeto SapiEns	68
Figura 12	Smart Plug tem a finalidade de medir o consumo de eletricidade dos ambientes e enviar estas informações a camada de sensibilidade ao contexto via protocolo MQTT. . . . .	70
Figura 13	Smart Cam é responsável por verificar se há presença humana no ambiente e enviar estas informações a camada de sensibilidade ao contexto via protocolo MQTT. . . . .	71
Figura 14	Exemplo simplificado de um gatilho cadastrada no sistema SapiEns .	73
Figura 15	Exemplo de representação de interação de gatilho com o usuário para o sistema . . . . .	74
Figura 16	Fluxograma de ativação do Agente Persuasivo . . . . .	75
Figura 17	Demonstração de como esquemas são criados em NoSQL . . . . .	77
Figura 18	Variação da recomendação dos gatilhos durante a segunda semana . .	103
Figura 19	Variação da habilidade do usuário durante a segunda semana . . . . .	104
Figura 20	Variação da motivação do usuário durante segunda semana . . . . .	104

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Análise de características das arquiteturas [Wang et al., 2011, Akanmu et al., 2013, Tan et al., 2008, Botelho, 2015] . . . . .	44
Tabela 2	Entradas e saídas da camada de interação física da arquitetura persuasiva baseada em CPS . . . . .	53
Tabela 3	Entradas e saídas da camada de interação humana da arquitetura persuasiva baseada em CPS . . . . .	55
Tabela 4	Entradas e saídas da camada de sensibilidade ao contexto da arquitetura persuasiva baseada em CPS . . . . .	59
Tabela 5	Entradas e saídas da camada de representação da arquitetura persuasiva baseada em CPS . . . . .	61
Tabela 6	Entradas e saídas da camada de tomada de decisão da arquitetura persuasiva baseada em CPS . . . . .	66
Tabela 7	Rotas do sistema SapiEns . . . . .	78
Tabela 8	Interfaces desenvolvidas no projeto SapiEns - parte 1: (A) Tela de login; (B) Tela inicial; (C) Tela de dispositivos; (D) Tela de visualização de ajuda; (E) Tela de consulta de usuários; (F) Menu lateral. . . . .	81
Tabela 9	Interfaces desenvolvidas no projeto SapiEns - parte 2: (A) Tela de consulta de plugs; (B) Tela de consulta de Câmeras; (C) Tela de consulta de smartcenter; (D) Tela de cadastro plug; (E) Tela de cadastro câmera; (F) Tela de cadasro smartcenter. . . . .	82
Tabela 10	Interfaces desenvolvidas no projeto SapiEns - parte 3: (A) Tela cadastro de usuários; (B) Tela de consulta de metas; (C) Tela de cadastro de metas; (D) Tela de personalização de relatórios; (E) Tela esqueci minha senha; (F) Tela de consulta de relatórios. . . . .	83
Tabela 11	Gatilhos cadastrados no sistema . . . . .	86
Tabela 12	Resultados da primeira semana referentes ao <i>Smart Plug 1</i> (caixa de som) com os gatilhos do sistema inativos . . . . .	88
Tabela 13	Resultados da primeira semana referentes ao <i>Smart Plug 2</i> (TV) com os gatilhos do sistema inativos . . . . .	91
Tabela 14	Resultados da segunda semana referentes ao <i>Smart Plug 1</i> (caixa de som) com os gatilhos do sistema ativos . . . . .	94
Tabela 15	Resultados da segunda semana referentes ao <i>Smart Plug 2</i> (TV) com os gatilhos do sistema ativos . . . . .	97

Tabela 16	Gatilhos enviados ao app SapiEns: (A) Gatilho tipo <i>spark</i> grupo aceitação/rejeição social; (B) Gatilho tipo <i>spark</i> grupo esperança/medo; (C) Gatilho tipo <i>facilitator</i> grupo tempo; (D) Gatilho tipo <i>spark</i> grupo esperança/medo; (E) Gatilho tipo <i>facilitator</i> grupo esforço físico; (F) Gatilho tipo <i>spark</i> grupo Esperança/Medo social; . . . . .	100
Tabela 17	Gatilhos enviados ao usuário do sistema SapiEns com os respectivos níveis de motivação e habilidade . . . . .	101

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

PIMVP	Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance
FBM	Fogg Behavior Model
IHC	Interação entre Humano e o Computador
CMC	Computador como Mediador de Comunicação
WEB	World Wide Web
IoT	Internet of Things
SE	Sistemas Embarcados
CPS	Cyber and Physical System
M2M	Machine to Machine

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	15
1.1	Objetivo Geral	18
1.2	Objetivos Específicos	18
1.3	Organização da proposta	18
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	19
2.1	Persuasão	19
2.2	Captologia	20
2.2.1	Modelo de Comportamento de Fogg	23
2.2.2	Trabalhos Relacionados	25
2.3	Sistemas ciber-físicos	29
2.3.1	Conceito e Características	29
2.3.2	Principais Tendências e Desafios	31
2.3.3	Exemplos de Arquiteturas	35
<b>3</b>	<b>ARQUITETURA PERSUASIVA BASEADA EM CPS</b>	47
3.1	Camada de Interação Física	47
3.1.1	Módulos e Componentes	49
3.1.2	Fluxo de informação	53
3.2	Camada de Interação Humana	53
3.2.1	Módulos e componentes	54
3.2.2	Fluxo de Informações	54
3.3	Camada de interação Virtual	54
3.3.1	Módulos e Componentes	55
3.3.2	Fluxo de Informações	56
3.4	Sensibilidade ao contexto	56
3.4.1	Módulos e Componentes	57
3.4.2	Fluxo de Informações	57
3.5	Camada de Representação	60
3.5.1	Módulos e componentes	60
3.5.2	Fluxo de Informações	60
3.6	Camada de Decisão	60
3.6.1	Módulos e Componentes	60
3.6.2	Fluxo de Informações	65

<b>4</b>	<b>SAPIENS: UM SISTEMA PERSUASIVO CPS PARA MUDANÇA DE COMPORTAMENTO COM FOCO NA OTIMIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA</b>	<b>67</b>
4.1	O Cenário de Aplicação do Sapiens	69
4.2	Domínio Físico	70
4.3	Camada de Interação Física	72
4.4	Camada de interação virtual	72
4.5	Camada de tomada de decisão	73
4.6	Camada de representação	77
4.7	Camada de sensibilidade ao contexto	77
4.8	Camada de interação humana	79
4.9	Considerações finais	83
<b>5</b>	<b>TESTES E RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO SAPIENS</b>	<b>85</b>
5.1	Instalação do protótipo	85
5.1.1	Medição do consumo sem gatilhos	85
5.1.2	Medição do consumo com gatilhos	93
5.1.3	Análise e discussão dos resultados	103
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>106</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>109</b>
	<b>ANEXO A FOTOS DO EXPERIMENTO</b>	<b>120</b>
	<b>ANEXO B LISTA DE TECNOLOGIAS DO OPENHAB</b>	<b>123</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Recentemente surge na computação um novo paradigma associado à possibilidade de pervasividade e ubiquidade decorrente do maior grau de encapsulamento, comunicação e autonomia dos componentes de *hardware*. Novas formas de interação humano-computador tornam-se possíveis por meio da agregação da computação ubíqua e pervasiva, onde o computador se integra ao dia a dia da sociedade em “qualquer lugar” e em “qualquer momento” [Atzori et al., 2010]. Neste contexto, busca-se a integração da computação com ações e comportamentos naturais dos indivíduos, de modo a tornar a interação homem-máquina invisível (imperceptível). Evoluções tecnológicas em dispositivos móveis de processamento, comunicação e computação visual são aportes tecnológicos catalisadores deste processo. A *Internet* tradicional orientada pessoa a pessoa evolui para uma Internet das *Coisas* (IoT), tornando possível a identificação e integração dos dados das Coisas (sensores, atuadores) do mundo real no mundo virtual [Atzori et al., 2010]. A IoT passa a agregar significativamente mais semântica do que a simples transmissão da informação da Internet tradicional. Ademais, a IoT traz a noção de serviço, proporcionada pela sua combinação com Rede de Sensores, Internet e computação em nuvem. Estes serviços relacionam-se com a capacidade de percepção, reconhecimento e controle do mundo real, permitindo a sua unificação com o mundo virtual e a interação entre pessoas, *coisas* e equipamentos [Guinard et al., 2010]. Surge assim o termo *Cyber and Physical Systems* (CPS), de modo a representar sistemas complexos multidimensionais que integram computação, redes e ambientes físicos com seus elementos [Kim and Kumar, 2012]. Esta integração advém da utilização de sensores, controle dinâmico e serviços de análise e visualização de informações em cenários complexos em tempo real. Devido ao monitoramento e controle mais seguro, confiável e eficiente, CPS’s proporcionam novos patamares de integração humano-máquina máquina-humano. Atualmente é possível projetar ambientes multi-tecnológicos compostos por redes de sensores e atuadores, os quais adquirem informações de forma automática, com pouca ou nenhuma participação humana. A qualquer instante e em qualquer lugar informações são coletadas e processadas, resultando em modificações atuadas diretamente no ambiente. Do ponto de vista do usuário, colaborações podem se estabelecer de forma espontânea, entre computado-

res, robôs, redes de sensores e, agora, *coisas* - elementos presentes em cenários reais - que ao serem automaticamente percebidas e modificadas compõem estes novos ecossistemas. Assim, da mesma forma que na computação ubíqua, a computação está presente em todo local neste novo contexto, envolvendo as interfaces de aquisição e representação das informações do meio. Isto é feito através da Robótica e Automação Ubíqua e Pervasiva, CPSs com diferentes recursos tecnológicos de percepção, processamento e atuação, podendo estar por todo o local, percebendo, processando e atuando de forma autônoma “em qualquer coisa” [Botelho, 2015].

Por outro lado, a persuasão é um segmento da psicologia cujo objetivo pode ser definido como sendo a habilidade de induzir crenças e valores em outras pessoas, influenciando dessa forma pensamentos ou ações. O estudo da persuasão utiliza o comportamento como principal elemento de avaliação, pois as pessoas, em cada cultura, desenvolvem respostas comuns a determinadas situações. Assim é possível prever certos comportamentos e persuadir o indivíduo a realizar determinada ação [Hogan, 2010]. A persuasão utiliza estratégias de comunicação que consistem em utilizar recursos lógico-rationais ou simbólicos para induzir alguém a aceitar uma ideia, uma atitude, ou realizar uma ação.

O conceito de persuasão aplicado à tecnologia, caracteriza-se como uma tecnologia persuasiva [Hogan, 2010]. O termo Tecnologia Persuasiva, também é conhecido como Captologia, consiste na intersecção da tecnologia com a persuasão, a fim de projetar, verificar e analisar o impacto de um sistema computacional interativo desenvolvido para mudar atitudes ou comportamentos [Fogg, 2002]. Em outras palavras, a tecnologia persuasiva visa à mudança de comportamento de um indivíduo por meio de interações com um dispositivo tecnológico. Com base no uso de tecnologias persuasivas no cotidiano, este trabalho será baseado no *Fogg Behavior Model* (FBM), o qual descreve a mudança de comportamento humano como sendo um produto de três fatores: i) Motivação: facilitador para mudança de comportamento; ii) Habilidade: grau de competência que um indivíduo tem para realizar um comportamento; e iii) gatilho: recurso responsável por iniciar o processo de mudança de comportamento do indivíduo. Segundo [Fogg, 2002], para um indivíduo alcançar um comportamento alvo, o mesmo deve ser notificado (envio de mensagem, aviso, etc), estar motivado e ter habilidade de executar este comportamento. O comportamento alvo somente será alcançado na presença dos três fatores (motivação, habilidade e notificação ao indivíduo (gatiho)) no instante de tempo adequado [Fogg, 2002]. Dentre as vantagens elencadas pelas tecnologias persuasivas, frente ao uso de persuasores humanos, pode-se citar: i) Persistência: máquinas não ficam frustradas com reações negativas, portanto podem persistir indefinidamente; ii) Anonimato: é mais fácil obter informações de forma anônima, por meio de um sistema do que por outro ser humano; iii) Manipulação de Dados: capacidade de acessar, armazenar e manipular dados; iv) Mídias: em alguns casos a forma como a informação é transmitida torna-se mais persuasiva que a própria informação; v) Dimensionamento: processamento de informação de acordo com

a demanda; e vi) Ubiquidade da tecnologia: a capacidade de estar em vários lugares ao mesmo tempo coloca a tecnologia em locais onde o persuasor humano não poderia estar.

Neste panorama, percebe-se que CPS pode fornecer um aporte tecnológico para elaboração de tecnologias persuasivas decorrente da possibilidade de atuação e aquisição de dados do mundo real e sua representação no mundo virtual. Contudo, o estudo sobre CPS ainda apresenta alguns requisitos e desafios [Lee et al., 2008], concluindo que a utilização do seu potencial requer a evolução dos métodos computacionais atuais, enfatizando a necessidade de melhorias em termos de comunicação e trabalho em rede. [Graham et al., 2009] ainda complementa que arquiteturas e conceitos padronizados são necessidades a serem tratadas para apoiar a integração, interoperabilidade e estimular inovações em CPS. Além disto, a partir da revisão da literatura pode-se notar a ausência de persuasão em CPS's, ou seja, ainda não foi explorado explicitamente na literatura a aplicação de CPS que tenham como foco principal a persuasão do indivíduo frente a mudança de comportamento e atitudes. Mesmo que alguns trabalhos apresentem agentes inteligentes responsáveis por CPS cognitivos com alto grau de tomada de decisão [Botelho, 2015, Wang et al., 2011, Leitão et al., 2015], ainda pouco foi explorado relativo a possibilidade de desenvolvimento de CPS que incorporem explicitamente conceitos de persuasão em sua inteligência para deliberação e execução. Ademais, trabalhos relacionados a tecnologias persuasivas [Dijkstra, 2006, Saini and Lacroix, 2009, Eyck et al., 2006, McCalley et al., 2006, Kappel and Grechenig, 2009] são desenvolvidos para cumprir um objetivo específico (economia de energia, economia de água, perder peso, parar de fumar, etc), ou seja, foi pouco explorado a possibilidade do desenvolvimento de metodologias/arquiteturas que possam ser aplicadas em diversas áreas. Assim, diante de tais vantagens e desafios de CPS e das possíveis oportunidades originais do seu uso para persuasão, apresenta-se como proposta deste trabalho o desenvolvimento de uma arquitetura persuasiva baseada em CPS. Esta arquitetura será validada por meio de um estudo de caso aplicado a um sistema inteligente de automação, monitoramento e controle de energia elétrica para ambientes residenciais, no âmbito do projeto SapiEns<sup>1</sup>. Isto porque de acordo com o último levantamento da ABESCO, (Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia ) o Brasil vem desperdiçando anualmente mais de 10% do total de energia elétrica consumida. Esse desperdício custou 12,64 bilhões no ano de 2014, dos quais, metade corresponde a perdas geradas por consumidores residenciais e o restante se divide entre indústria, comércio, serviços e órgãos públicos [ABESCO, 2015]. Valores estes que colocaram o Brasil em penúltimo lugar no *ranking* mundial de eficiência energética. Assim, o projeto Sapiens buscará promover o gerenciamento eficiente do consumo de energia utilizando técnicas de persuasão, a fim de interagir com o

---

<sup>1</sup>O projeto SapiEns tem como objetivo o estudo e desenvolvimento de metodologias e tecnologias capazes de incluir o consumo como elemento inteligente em *Smart Grids* sustentáveis e eficientes, de forma a contribuir para o desenvolvimento científico e tecnológico e a inovação do Setor Elétrico Brasileiro.

usuário com foco na otimização do consumo de energia elétrica.

## **1.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo geral o estudo e desenvolvimento de uma arquitetura persuasiva baseada em Sistemas Ciber-físicos.

## **1.2 Objetivos Específicos**

- Estudar a teoria da persuasão, seus conceitos e principais técnicas, sobretudo associadas ao desenvolvimento de tecnologias;
- Estudar arquiteturas para implementação de Sistemas Ciber-físicos;
- Propor uma arquitetura persuasiva baseada em CPS;
- Validar a arquitetura no contexto de eficiência energética, no âmbito do projeto SapiEns.

## **1.3 Organização da proposta**

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: No capítulo 2 serão apresentados os principais conceitos referentes a persuasão, tecnologias persuasivas e sistemas físicos-cibernéticos, bem como os trabalhos relacionados. No capítulo 3 será apresentada a arquitetura persuasiva baseada em CPS e suas características. No capítulo 4 serão apresentados os resultados da proposta. No capítulo 5 serão apresentadas as conclusões e trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir, apresenta-se o referencial teórico que embasará esta dissertação. Serão apresentados os principais conceitos, metodologias e trabalhos relacionados à persuasão, tecnologias persuasivas e sistemas ciber-físicos.

### 2.1 Persuasão

A persuasão pode ser definida como sendo a habilidade de induzir crenças e valores em outras pessoas, influenciando dessa forma seus pensamentos ou ações. Para que a persuasão possa ser aplicada, pode-se definir estratégias específicas, tendo como foco induzir as pessoas a adotar comportamentos diferenciados [Hogan, 2010].

Um aspecto importante é distinguir manipulação de persuasão. A manipulação pode ser definida como a utilização de estratégias a fim de mudar o comportamento individual a partir de elementos não verídicos, ou seja, situações que não são reais. Ao passo que a persuasão implica na mudança voluntária de comportamento do indivíduo a partir de situações verdadeiras (existentes). Em outras palavras, enquanto a persuasão busca mudar um comportamento em benefício mútuo, persuasor e persuadido, a manipulação visa o benefício somente do manipulador. A persuasão permite que o indivíduo tenha a opção de escolha perante as interações, ou seja, não necessariamente o indivíduo irá mudar seu comportamento. Em uma situação de manipulação, o indivíduo não tem a opção de escolha, pois quem controla a situação é o manipulador [Insaurriga, 2012].

As estratégias de persuasão vêm sendo amplamente utilizadas por profissionais da área de *marketing* e *web design* [Boyer and Baker, 2015]. Elementos persuasivos estão sendo empregados para induzir as pessoas a comprar produtos que são anunciados [Cialdini, 2002]. Propagandas, independente da mídia na qual são veiculadas, fazem uso de princípios de persuasão com maior ou menor intensidade. Segundo [Cialdini, 2002], a persuasão pode ser alcançada com base em seis estratégias:

- **Reciprocidade:** os indivíduos sentem-se compelidos a retribuir, nem sempre de forma vantajosa, um favor que a outra pessoa fez. Pessoas que recebem inesperadamente algo (brinde, informação, favor) de graça, tendem a ser mais receptivas

perante a uma situação [Cialdini, 2002][Hogan, 2010];

- **Coerência e Compromisso:** depois que as pessoas fazem uma escolha, as mesmas enfrentam pressões para se comportar de maneira condizente com o compromisso assumido [Cialdini, 2002, Hogan, 2010].
- **Aprovação Social:** as pessoas tendem a buscar em seu entorno indícios do comportamento normal aceito pela sociedade, a fim de guiar suas decisões ou ações. Pode-se afirmar que esta estratégia também é conhecida como *Pathos* em [Aristotle, 2012]. [Hogan, 2010] denomina esta estratégia de princípio da conformidade.
- **Afeição:** as pessoas preferem aceitar pedidos de pessoas que conhecem e/ou têm afinidade. Ademais, as pessoas são mais propensas a favorecer aqueles que são fisicamente atraentes, semelhantes a si ou os que elogiam [Cialdini, 2002]. [Hogan, 2010] chama esta estratégia de princípio da amizade. Pessoas com o mesmo nome podem tornar-se mais propensas a se favorecer por compartilharem alguma semelhança.
- **Autoridade:** as pessoas têm um arraigado senso de obediência à autoridade. O fato das pessoas atenderem aos seus superiores, especialistas ou indivíduos bem vestidos são fatores comprovados que prestam credibilidade a qualquer indivíduo. A aparência de autoridade aumenta a probabilidade de reciprocidade alheia – mesmo que a autoridade seja ilegítima [Cialdini, 2002]. [Aristotle, 2012] denomina autoridade como *Ethos*, já [Hogan, 2010] define esta estratégia como princípio do poder;
- **Escassez:** tudo se torna mais valioso quando fica menos disponível [Cialdini, 2002, Hogan, 2010].

[Hogan, 2010] ainda complementa estas estratégias com o princípio do contraste, ou seja, as pessoas tendem a enxergar uma maior diferença entre dois itens, mesmo quando eles são semelhantes, se colocados juntos no tempo ou no espaço.

## 2.2 Captologia

O termo captologia (*Computer as Persuasive Technology*) consiste na intersecção do elemento tecnológico com a persuasão, a fim de projetar, verificar e analisar o impacto de um produto computacional interativo, desenvolvido para mudar atitudes ou comportamentos [Fogg, 2002]. É importante ressaltar que a captologia visa o estudo de computadores como tecnologia persuasiva com foco na interação entre o humano e o computador (IHC) e não o computador como mediador de comunicação (CMC). Em outras palavras, a captologia investiga como pessoas são motivadas ou persuadidas quando interagem com produtos computacionais e não por meio deles [Fogg, 2002].

Por intermédio do CMC, o computador é um canal de comunicação que permite ao ser humano se comunicar com seu semelhante. Por exemplo, pessoas em diferentes locais podem utilizar ferramentas computacionais para enviar mensagens instantâneas ou quadros eletrônicos, com objetivo de tornar algo colaborativo. Neste cenário, o computador apenas facilita uma comunicação e não persuade [Fogg, 2002].

Contudo, utilizando IHC, o produto computacional se torna um participante na interação e pode ser um recurso de persuasão. Neste caso, o computador pode tomar decisões para promover motivação e influenciar o usuário, por meio de rotinas programadas para traçar tais estratégias [Fogg, 2002].

A tecnologia persuasiva é considerada um sinônimo do termo *captologia* e pode ser definida como um sistema computacional interativo, que é utilizado para tentar alterar o comportamento humano [Fogg, 2002]. Na década de 70, surgiram as primeiras tecnologias persuasivas, visando a mudança de atitudes e comportamentos de seus usuários [Kaptein et al., 2012]. Pode-se desenvolver um determinado artefato tecnológico com o objetivo específico de persuadir ou este artefato pode conter elementos persuasivos, sem que seja o seu principal foco. [Kaptein et al., 2012] define essa diferença como micro e macro persuasão. Nesta última, o computador não assume como principal meta a persuasão, porém alguns de seus recursos e sistemas podem influenciar seus usuários a adotar determinados comportamentos. A popularização da *web* fez com que a tecnologia persuasiva se tornasse um importante segmento de estudo. Atualmente, existem milhares de *websites* cujo objetivo é a mudança de comportamento dos usuários, seja ela para comprar um produto, organizar finanças ou cuidar de sua saúde [Kaptein et al., 2012].

Em complemento ao relatado, nota-se que a tecnologia persuasiva pode assumir diversas formas, não se limitando somente a vendas. Pesquisas têm demonstrado a viabilidade dessas tecnologias em uma variedade de contextos como por exemplo, a publicidade [Lambert, 2007], promoção de comportamentos saudáveis [Dijkstra, 2006, Eyck et al., 2006, Gasser et al., 2006] ou sociais [Morris and Guilak, 2009, Svane, 2007, Firpo et al., 2009], e redução do consumo de energia [Midden et al., 2008, McCalley et al., 2006].

A principal vantagem destas tecnologias é a interatividade, a qual permite que o sistema realize a persuasão por meio da adequação de suas estratégias conforme o comportamento de uma pessoa.

Existem diversos fatores relacionados ao comportamento humano que devem ser considerados, a fim de efetivamente alcançar o comportamento desejado. Para tanto, faz-se necessário a utilização de um modelo de análise de comportamento. Em [FOGG, 2015b] são citados alguns modelos comportamentais: i) Teoria Social Cognitiva [Bandura, 1986] - refere-se ao indivíduo aprender e adquirir experiências observando as consequências dentro do seu ambiente, bem como por meio da convivência com outros indivíduos; ii) Modelo Heurístico Sistemático (HSM) [Uleman and Bargh, 1989] - O modelo tem como objetivo explicar como as pessoas recebem e compreendem mensagens persuasivas; iii)

Modelo de elaboração provável (ELM) [Petty and Cacioppo, 1986] - tem como objetivo explicar diferentes formas de processamento de estímulos e seus resultados sobre a mudança de atitude; iv) Teoria da Ação Racional [Madden et al., 1992] - tem como objetivo identificar os fatores determinantes de um comportamento intencional. A TAR define as relações entre crenças, atitudes, normas subjetivas, intenções e comportamento; v) Teoria do Comportamento Planejado [Madden et al., 1992]- tem como objetivo melhorar o poder de predição da Teoria da Ação Racional, por meio da inserção da percepção do controle comportamental; vi) Modelo Transteórico [Prochaska, 2013] - tem como objetivo avaliar o quão apto está um indivíduo perante a execução de um novo comportamento saudável (parar de fumar, perder peso, entre outros). Além disto, este modelo fornece estratégias para orientar o indivíduo a mudar seu comportamento por meio dos estágios de mudança de ação; vii) Dissonância Cognitiva [Festinger, 1962] - tem como objetivo explicar a necessidade que existe nos indivíduos de encontrar uma coerência entre suas cognições (conhecimentos, crenças, opiniões); viii) Hierarquia de necessidades [Maslow, 1943] - tem como principal objetivo determinar as condições necessárias para que cada ser humano atinja a sua satisfação pessoal e profissional; ix) Teoria da Atribuição [Kelley, 1967] - é o processo pelo qual os indivíduos explicam as causas de seu comportamento ou de seu semelhante por meio de fatores externos; x) Teoria da Expectativa [Van Eerde and Thierry, 1996] - tem como objetivo explicar os determinantes do comportamento e das atitudes no local de trabalho; xi) Teoria da Auto-determinação [Deci and Ryan, 2008] - tem como objetivo verificar a motivação de um indivíduo perante suas escolhas sem avaliar fatores externos; xii) Teorias de aprendizagem (Behaviorismo) [Ormrod and Davis, 2004, Skinner, 1950, Watson, 1913] - é uma abordagem sistemática para a compreensão do comportamento humano e animal. Assume-se que o comportamento de um ser humano ou animal é uma consequência da história do indivíduo, incluindo especialmente o reforço e punição, em conjunto com o atual estado motivacional do indivíduo. Assim, embora os behavioristas geralmente aceitam o papel importante da herança na determinação do comportamento, eles se concentram principalmente em fatores ambientais.

Para fins deste estudo, optou-se por utilizar o Modelo de Comportamento de Fogg (FBM) [Fogg, 2002]. Segundo [FOGG, 2015b], este modelo difere-se dos demais no sentido de ser focado na mudança de comportamento, enquanto os outros são focados na mudança de atitude. [Hockenbury and Hockenbury, 2003] define comportamento como a execução de uma atitude, ou seja, não envolve apenas o desejo das pessoas de fazer algo. Por outro lado, [Rodrigues, 2002] define atitude como a predisposição de um indivíduo a executar uma ação, ou seja, é a intenção de realizar algo de acordo com que ela pensa e sente. Uma vez que o estudo tem como proposta apresentar uma arquitetura com foco na mudança de comportamento do indivíduo, jugou-se o FBM como a opção mais adequada, o qual será descrito na próxima subseção.

### 2.2.1 Modelo de Comportamento de Fogg

O Modelo de Comportamento de Fogg (*Fogg Behavior Model* - FBM) é um *framework* conceitual que pode ser utilizado para projetar e avaliar tecnologias persuasivas. Este modelo descreve o comportamento humano como sendo um produto de três fatores denominados: motivação, habilidade e gatilho. Para atingir um comportamento desejado, o indivíduo deve estar motivado, ter uma habilidade mínima para executar o comportamento, além disso, o mesmo deve ser notificado (gatilho), ou seja, receber uma mensagem, aviso, alerta, entre outros. A teoria de Fogg afirma que todos os três fatores devem estar presentes no mesmo instante de tempo, para que o comportamento desejado ocorra [Dillahunt et al., 2008]. Os elementos deste modelo serão descritos com mais detalhes a seguir:

- **Motivação:** facilitador para mudança de comportamento, que pode ser dividido em três grupos:
  - **Prazer ou Dor:** motivador que tem sua ação disparada instantaneamente, pois as pessoas respondem ao que está acontecendo naquele instante de tempo. As pessoas não pensam antes de realizar o comportamento;
  - **Esperança ou Medo:** visa incentivar a antecipação de um comportamento. Pessoas realizam um comportamento, a fim de antecipar algo bom ou evitar algo ruim. Como pode ser visto no comportamento cotidiano das pessoas, isso pode ser um motivador mais poderoso do que prazer/dor;
  - **Aceitação ou Rejeição Social:** controla grande parte do comportamento social, porque a maioria das pessoas são motivadas a fazer determinadas tarefas para serem aceitos socialmente.
- **Habilidade:** é o grau de competência que um indivíduo tem para realizar um comportamento. Quanto maior a habilidade de um indivíduo, mais facilmente se pode persuadí-lo. A habilidade pode ser descrita em seis diferentes dimensões, onde estas dimensões são chamadas de elementos da simplicidade (tempo, dinheiro, esforço físico, desvio social, ciclos de cérebro e rotina), os quais são descritos a seguir:
  - **Tempo:** mede qual a competência de um indivíduo no que tange a sua disponibilidade temporal (momentânea, horária, diária, semanal, mensal, entre outras) para realização de uma determinada atividade rumo ao comportamento alvo;
  - **Dinheiro:** refere-se ao grau de disponibilidade orçamentária de um indivíduo para executar uma atividade associada à obtenção do comportamento alvo;
  - **Esforço Físico:** refere-se ao grau de competência de um indivíduo no que tange a sua capacidade física para a realização de uma determinada tarefa rumo ao comportamento alvo;

- **Ciclos do Cérebro:** refere-se ao grau de competência de um indivíduo no que tange a sua capacidade cognitiva para realização de uma determinada tarefa rumo ao comportamento alvo;
  - **Desvio Social:** refere-se ao grau de competência de um indivíduo no que tange a sua conduta perante o que a sociedade prega como correto, durante a realização de uma determinada tarefa rumo ao comportamento alvo.
  - **Rotina:** refere-se ao grau de divergência de atividades habituais de um indivíduo para executar uma atividade associada a obtenção do comportamento alvo.
- **Gatilho:** recurso (lembretes, mensagens, alertas, notificações) utilizado para induzir um indivíduo a realizar um comportamento, os gatilhos podem ser divididos em três grupos:
    - **Spark:** é adequado para indivíduos que têm pouca motivação e alta habilidade para realizar um comportamento alvo. Este tipo de gatilho deve ser disparado no formato de um dos grupos que aumente a motivação dos indivíduos;
    - **Facilitator:** este tipo de gatilho é adequado para indivíduos que têm alta motivação e pouca habilidade (capacidade de executar um comportamento). O objetivo deste gatilho é facilitar a execução de um comportamento (aumentando a habilidade) do indivíduo;
    - **Signal:** é utilizada quando as pessoas têm motivação e a habilidade de realizar o comportamento alvo. O gatilho do tipo *Signal* não pretende motivar as pessoas ou simplificar sua tarefa. Em suma, serve apenas como um lembrete, de forma a manter os níveis de habilidade e motivação.

É importante citar a diferença entre *gatilhos quentes* e *gatilhos frios*. Quando os *gatilhos quentes* são enviados a resposta pode desencadear uma sequência de eventos programados para que o comportamento alvo seja atingido, ou seja, são ações que podem ser executadas no momento de envio do gatilho. Por outro lado, os *gatilhos frios* não desencadeiam uma sequência de eventos programados, ou seja, o comportamento não pode ser executado no momento do envio do gatilho.

A Figura 1 descreve a relação entre habilidade, motivação e gatilhos disparados. O eixo vertical representa a motivação e o eixo horizontal representa a habilidade de uma pessoa. Se a motivação e habilidade forem baixas, não ocorrerá a mudança de comportamento do indivíduo. Por outro lado, se o indivíduo estiver motivado e possuir habilidade para execução de um determinado comportamento, este está mais perto de atingir o comportamento alvo - comportamento que é definido como objetivo a ser alcançado.



Figura 1: O Modelo de Comportamento de Fogg e seus três fatores: motivação, habilidade e gatilho adaptado de [FOGG, 2015a]

A medida que motivação e habilidade aumentam, a possibilidade do indivíduo alcançar o comportamento alvo também aumenta. Além disso, a Figura 1 apresenta uma curva a qual é denominada de linha de ação [FOGG, 2015a], esta curva representa o mínimo de motivação e habilidade que um usuário deve ter para que o mesmo execute um comportamento. Se a pessoa está à direita (e acima) desta curva (representado pela letra B na Figura), então a mesma obteve êxito na mudança de comportamento, pois estava motivada e possuía habilidade o suficiente para executar o comportamento. Por outro lado, se o indivíduo está a esquerda e abaixo desta curva (representado pela letra A na Figura), então o indivíduo não obteve êxito na mudança de comportamento, pois não possui habilidade e motivação o suficiente para executar o comportamento.[Fogg, 2009]

Por fim, para que se atinja o comportamento alvo, é necessário que um gatilho seja enviado no melhor momento para que a pessoa receba essa mensagem e mude o seu comportamento de uma forma espontânea. O melhor momento pode ser definido como tempo de Kayros [Fogg, 2009], que é descrito como um tempo em que algo especial acontece, ou seja, o momento oportuno para persuadir uma pessoa, a qual já está motivada e apresenta habilidade suficiente.

### 2.2.2 Trabalhos Relacionados

Nesta seção serão demonstrados alguns trabalhos relacionados à mudança de comportamento. Estes trabalhos descrevem algumas aplicações de tecnologias persuasivas em diversas áreas, tais como: Saúde ([Dijkstra, 2006]; [Eyck et al., 2006]; [Gasser et al., 2006]; [Saini and Lacroix, 2009]; [Sterns and Mayhorn, 2006]); Redes Sociais ([Ferebee and Davis, 2009]); Educação ([Firpo et al., 2009]), Sustentabilidade ([Kappel and Grechenig, 2009]; [McCalley et al., 2006]); Segurança ([Forget et al., 2008]) e Sistemas Colaborativos ([Harper et al., 2007]).

Em [Dijkstra, 2006], é proposto um sistema persuasivo cujo objetivo era ajudar fumantes a parar de fumar. Para isto, [Dijkstra, 2006] utilizou o envio de mensagens de

texto personalizadas para diferentes indivíduos via celular. As pessoas envolvidas no experimento foram divididas em quatro grupos: i) Padrão - indivíduos que recebem quatro tipos de mensagens com informações sobre os problemas de saúde relacionados ao tabaco; ii) customizado - indivíduos que recebem os mesmos quatro tipos de mensagens, porém com informações adicionais como: nome, tempo de uso do tabaco e idade; iii) Adaptado: mensagens que levam em consideração os problemas do tabagismo em alguns esportes, bem como em relação ao gênero dos indivíduos; iv) Feedback: mensagens com conteúdos específicos de cada indivíduo referentes ao perfil definido de acordo com um questionário inicial do experimento, onde as pessoas respondiam algumas questões relacionadas à quantidade de tabaco ingerida diariamente, atividades físicas, gênero e idade. Os resultados foram obtidos por meio de questionários e demonstram que mensagens personalizadas que contêm elementos customizados e *feedback* em sua composição são mais eficientes para auxiliar a cessar o tabagismo.

[Gasser et al., 2006] propuseram a comparação de um sistema persuasivo para aplicações móveis em relação a aplicações tradicionais web. O sistema persuasivo tinha como objetivo auxiliar a mudança de estilo de vida dos usuários, a fim de melhorar a sua saúde. Informações referentes às atividades físicas e alimentares deveriam ser inseridas diariamente pelo usuário (base para avaliação de motivação e habilidade). Além disso, questionários relacionados a saúde e informações facilitadoras (gatilhos) auxiliavam no processo para aumento de motivação. A aceitação do sistema foi alta em ambos os grupos. Contudo, a partir da análise da usabilidade dos sistemas, conclui-se que a aplicação móvel foi percebida como sendo mais atraente e divertida de usar. O trabalho de [Gasser et al., 2006] ainda demonstra o paradigma atual, onde os smartphones ganharam seu espaço no cenário mundial como um dos principais dispositivos para sistemas persuasivos.

[Saini and Lacroix, 2009] apresentam como proposta um sistema persuasivo para auxiliar a mudança de estilo de vida com objetivo de melhorar a saúde do indivíduo. Este sistema media as atividades físicas do usuário por meio de sensor (acelerômetro), bem como auxilia os usuários a definirem seus objetivos de acordo com seu padrão de atividade física. Ao término de cada dia, gráficos referentes às calorias gastas eram enviados por email para o usuário. O experimento foi realizado com quarenta e oito pessoas, as quais tiveram medidas suas atividades físicas durante um período de dez dias. Ao término deste período, foi aplicado um questionário a fim de verificar se o usuário estava interessado em melhorar a performance em suas atividades. Por fim, foi solicitado aos usuários para definirem seus objetivos (Quilocalorias) para os próximos três meses. Os resultados obtidos por meio da utilização deste sistema demonstrou que metas estabelecidas por usuários iniciantes não foram cumpridas, o que revela claramente que estes não são capazes de tomar decisões adequadas sobre o que mudar, em parâmetros aparentemente intuitivos, como atividade de intensidade moderada e alta. Por outro lado, em experimentos onde os usuários definiram seus objetivos para atividades físicas de alta intensidade,

indicou que a fixação de metas é um elemento importante na motivação e mudança de comportamento. Conclui-se então que é necessário o aprofundamento de estudos para compreender o funcionamento de atividades físicas diárias, bem como o estabelecimento de metas mais simples a fim de apoiar as pessoas iniciantes a aumentar a sua atividade física.

[Eyck et al., 2006] realizaram um experimento a fim de avaliar duas questões principais: Pode um treinador virtual motivar atletas iniciantes? Pode um treinador virtual influenciar atletas iniciantes a praticar exercícios físicos? Este experimento foi feito com vinte participantes do sexo feminino e foi dividido em duas etapas: com e sem treinador virtual. Os resultados desta pesquisa foram obtidos a partir do monitoramento dos batimentos cardíacos das pessoas e das respostas a um questionário de auto-regulação (SRQ-E). Os autores concluíram que as atletas obtiveram maior motivação com o treinador, ou seja, fazer exercícios acompanhado de um sistema persuasivo foi mais prazeroso do que praticar sozinho.

[Sterns and Mayhorn, 2006] desenvolveram um experimento durante três meses para auxiliar idosos a aprenderem a utilizar PDAs (*Personal digital assistants*), a fim de melhorar a adesão dessas pessoas à medicação. Durante o experimento, os idosos foram treinados para utilizar o PDA, bem como a utilização de um sistema persuasivo para lembrá-los de tomar seus medicamento. Os autores elaboraram dois estudos: no estudo 1, foram selecionados jovens e idosos para participar do experimento em laboratório; no estudo 2, estendeu-se o experimento para o campo a fim de avaliar se houve real adesão da medicação. Para avaliar os resultados, foram aplicados questionários de usabilidade a fim de analisar as atitudes dos usuários em relação ao PDA. Os resultados de ambos os estudos indicaram que os idosos podem ser treinados para usar PDAs e que estes dispositivos podem ser utilizados para promover a adesão à medicação. Além disso, os resultados indicam que idosos foram favoráveis a aprender a usar novas tecnologias.

[Firpo et al., 2009] propuseram um sistema persuasivo baseado em web para auxiliar alunos de uma escola a trabalhar em grupo (comportamento alvo). O sistema compreende a inserção de informações diárias utilizando o conceito de blogs, onde o proprietário do sistema insere algumas informações, a qual gera comentários e discussões dos usuários que a leem (base para verificação de habilidade e motivação). Ademais, o sistema também compreende a utilização de postcasts, ou seja, a utilização de áudio, vídeo, apresentações e documentos de texto a fim de disseminar informações para diferentes grupos de estudantes (gatilhos). Cada informação inserida de postcast foi dividida em categorias: EstudantesCasts/faculdadeCasts- estudantes apresentavam-se e demonstravam suas áreas de interesse; PesquisaCasts - Palestras e eventos especiais eram inseridas nestas categorias. Avaliações foram obtidas por meio de questionários e demonstraram que os estudantes mudaram seu comportamento em relação as interações sociais.

[McCalley et al., 2006] sugeriram um sistema persuasivo o qual tinha como objetivo

a economia de energia (comportamento alvo). Para isto verificaram se havia diferença no desempenho de tarefas para economia de energia entre dois níveis distintos de abstração. Os autores utilizaram questionários e dados de consumo para avaliar a economia de energia (verificar a habilidade e motivação dos usuários). O experimento foi feito por meio da simulação de uma máquina de lavar roupas com um sistema que explicava passo a passo o experimento. Os participantes, primeiro fizeram 10 simulações na máquina de lavar roupa. Seis dessas simulações foram utilizadas para determinar a linha de base do consumo de energia de cada indivíduo (níveis de motivação e habilidade). Após a simulação inicial, foi feita uma apresentação para as pessoas com dicas para economizar energia elétrica (gatilhos). Os resultados deste trabalho indicam que as pessoas que obtiveram alto nível de economia de energia na simulação inicial estavam sujeitas a um efeito teto, ou seja, não poderiam economizar mais energia do que economizaram inicialmente, apesar de ter uma alta motivação.

[Kappel and Grechenig, 2009] apresentam um sistema persuasivo baseado em resposta (feedback) para economia de água no banho (comportamento alvo). Basicamente, o sistema é composto por um medidor do consumo de água no banho e mostra para o usuário o montante d'água que já foi utilizado. O consumo de água foi utilizado para verificar os níveis de habilidade e motivação do usuário. Além disso, o montante de água utilizada durante o banho foi utilizado como gatilho. O experimento foi realizado com quatro famílias e consistiu na adoção do dispositivo, a fim de verificar se houve ou não a redução do consumo de água. Estes experimentos tiveram duração de três semanas. Os resultados obtidos demonstraram que em três semanas houve uma redução de aproximadamente 10 litros d'água nas residências.

[Forget et al., 2008] expõem a utilização de tecnologias persuasivas na área de segurança online. A proposta dos autores é utilizar a persuasão para auxiliar o usuário a criar senhas mais seguras e de fácil memorização (comportamento alvo). Como resultado deste estudo, foi proposto a utilização de um sistema no qual o usuário inseria seu login e senha. E sua saída era uma nova senha com alguns caracteres especiais, porém que não alterava de forma extrema a senha proposta pelo autor. Um teste deste sistema foi executado com 154 pessoas, onde 94% aceitaram a sugestão de senha e 97% deste total logou em sua conta em seguida. Conclui-se que este estudo demonstra uma boa taxa de aceitação dos usuário perante o sistema proposto, porém carece de um estudo mais aprofundado em relação a memorização da senha.

Pode-se perceber que a maior parte dos trabalhos apresentados nesta seção não apresentam explicitamente métricas que avaliam os níveis de habilidade e motivação conforme o FBM. Isto por que apesar do FBM poder ser aplicado em diversos contextos e ser muito flexível, ele é originalmente um modelo abstrato, ou seja, para que seus componentes (motivação, habilidade e gatilhos) sejam aplicados devem ser mapeados para elementos discretos, passíveis de serem implementados e medidos. Neste panorama, percebe-se que

tecnologias persuasivas necessitam de um aporte tecnológico que possibilite a atuação (envio de gatilhos) e aquisição de dados de modo a verificar os níveis de habilidade e motivação de um indivíduo segundo o FBM. Assim, o próximo capítulo apresentará sistemas ciber-físicos, os quais podem fornecer os subsídios necessário às tecnologias persuasivas permitindo discretizar os elementos do FBM possibilitando o envio de gatilhos, bem como mensurar habilidade e motivação.

## **2.3 Sistemas ciber-físicos**

A seguir, serão apresentados os principais conceitos, características, desafios e trabalhos relacionados a sistemas ciber-físicos.

### **2.3.1 Conceito e Características**

Recentemente um novo paradigma associado a possibilidade de pervasividade e ubiquidade em decorrência do grau de encapsulamento, comunicação e autonomia dos componentes de hardware surge na computação. A ubiquidade em suma vislumbra a possibilidade de inserir a computação nos mais diversos objetos do dia a dia, fazendo com que o usuário fique envolvido por dispositivos computacionais. Oposto ao paradigma tradicional em que o usuário interage explicitamente com a computação, geralmente necessitando de conhecimentos técnicos para realizar as tarefas desejadas, a computação pervasiva, termo usado na literatura como um sinônimo para a computação ubíqua, intenciona tornar-se “invisível” [Norman, 1998] ao usuário, interagindo com este e o ambiente de forma “calma” [Weiser and Brown, 1997]. Novas formas de interação humano computador são possíveis por meio da agregação da computação Ubíqua e Pervasiva, onde o computador se integra ao dia-a-dia da sociedade em “qualquer lugar” e em “qualquer momento” [Atzori et al., 2010].

Busca-se a integração da computação com ações e comportamentos naturais dos indivíduos, de modo a atender objetivos pré-estabelecidos, ou seja, tornar a interação homem-máquina invisível (imperceptível). Evoluções tecnológicas em dispositivos móveis de processamento, comunicação e computação visual são aportes tecnológicos catalisadores deste processo.

Neste novo contexto, a Internet tradicional orientada pessoa-à-pessoa evolui para uma Internet das Coisas (IoT), na qual é estabelecida uma infraestrutura que interliga objetos do mundo real em uma grande rede, com o objetivo principal de trocar informações entre os objetos (coisas) [Huang and Li, 2010];[Zhang et al., 2010];[Yan and Huang, 2009];[Welbourne et al., 2009] [Garrido et al., 2010];[Atzori et al., 2010]. A IoT passa a agregar significativamente mais semântica do que a simples transmissão da informação da Internet tradicional, bem como cobrir uma ampla faixa de conexões. Ademais, a IoT traz a noção de serviço, proporcionada pela sua combinação com Rede de Sensores, In-

ternet e Computação em Nuvem. Serviços estes que estão relacionados a capacidade de percepção, reconhecimento e controle do mundo real, permitindo a sua unificação com o mundo virtual e a interação entre pessoas, coisas e equipamentos [Guinard et al., 2010].

Surge assim o termo *Cyber-Physical Systems* (CPS), cunhado em 2006 pela *National Science Foundation* (NSF) [Lee and Seshia, 2011] e colocado como principal tópico de estudo na área de tecnologia da informação e comunicação (TIC) pelo Presidente do Conselho de Assessores em Ciência e Tectonologia [Group et al., 2008]. Em adendo o estudo sobre CPS's foi incluso, no final de 2013, em uma das áreas do programa de pesquisa e desenvolvimento Europeu denominado Horizonte 2020, cujo investimento aproximado é de 80 bilhões de Euros [Gunes et al., 2014].

CPS vem sendo definido de diferentes formas pela comunidade científica. [Rajkumar et al., 2010] define CPS como sistemas físicos, cujas operações são monitoradas, coordenadas, controladas e integradas por um núcleo de computação e comunicação. [Lee, 2006] descreve CPS como a integração de computação com processos físicos. [Marwedel, 2010] descreve CPS como sendo sistemas embarcados aliados a seus ambientes físicos. [Andrews and McCune, 2011] define CPS como sistemas físicos e biológicos cujas operações são integradas, monitorizadas, e/ou controladas por um núcleo computacional, no qual os componentes são ligados em rede em todas as escalas. A computação está profundamente enraizada em cada componente físico, possivelmente, até mesmo em materiais. O núcleo computacional é um sistema embarcado, o qual geralmente exige resposta em tempo real, e na maioria das vezes é distribuído.

É importante citar que os conceitos de CPS, IoT e Sistemas Embarcados (SE) tem uma relação estreita entre si. Alguns autores ([Leitão et al., 2015] e [Jazdi, 2014]) esclarecem algumas diferenças e semelhanças. O conceito de CPS estende o conceito de sistemas embarcados: em sistemas embarcados o foco principal é sobre elementos computacionais hospedados em dispositivos autônomos, enquanto o CPS é definido como uma rede de interação computacional e dispositivos físicos [Leitão et al., 2015]. A IoT tem como foco principal a integração e interação entre os elementos computacionais. No entanto, a cooperação entre estes elementos é opcional [Leitão et al., 2015], ou seja, estes podem não possuir um objetivo, apenas adquirem e trocam dados entre si. Porém, de forma similar CPS's consideram informações e conhecimentos provenientes dos processos físicos de forma a tomar decisões inteligentes [Leitão et al., 2015]. [Jazdi, 2014] ainda complementa que um CPS pode ser definido como um sistema embarcado que esteja apto a trocar informações através de uma rede. Ademais, CPS's conectados a Internet podem, ainda, ser chamados de IoT.

Em suma CPS's são sistemas complexos multidimensionais que integram computação, redes e ambientes físicos com seus elementos [Kim and Kumar, 2012]. Esta integração advém da utilização de sensores, controle dinâmico e serviços de análise e visualização de informações em cenários complexos em tempo real. Devido ao monitora-

mento e controle mais seguro, confiável e eficiente, CPS's proporcionam novos patamares de integração humano-máquina máquina-humano.

Atualmente é possível projetar ambientes multi-tecnológicos compostos por redes de sensores e atuadores, os quais adquirem informações de forma automática, com pouca ou nenhuma participação humana. A qualquer instante e em qualquer lugar informações são coletadas e processadas, resultando em modificações atuadas diretamente no ambiente. Do ponto de vista do usuário, colaborações podem se estabelecer, de forma espontânea, entre computadores, robôs, redes de sensores e, agora, coisas, elementos presentes no ambiente real, que ao serem automaticamente percebidas e modificadas compõem estes novos ambientes. Assim, da mesma forma que na computação ubíqua, a computação está presente em todo local, neste novo contexto, envolvendo as interfaces de aquisição e representação das informações do meio através da Robótica e Automação Ubíqua e Pervasiva, CPSs com diferentes recursos tecnológicos de percepção, processamento e atuação podem estar por todo o local, percebendo, processando e atuando de forma autônoma “em qualquer coisa” [Botelho, 2015].

Contudo, o conceito sobre CPS é relativamente novo [Gunes et al., 2014], [Lee et al., 2008] apresenta alguns requisitos e desafios para a concepção de CPS, concluindo que o desenvolvimento do potencial do CPS requer a evolução de métodos computacionais, enfatizando a necessidade de melhorias em termos de comunicação e trabalho em rede. [Sha et al., 2009] apresentam alguns desafios e promessas sobre CPS como abstrações do sistema em tempo real, robustez e segurança, sistema de composição de qualidade de serviço, entre outros. Três desafios fundamentais para assegurar *Cyber-Physical Systems* são discutidos em [Cardenas et al., 2009]: i) compreender as ameaças e possíveis consequências de ataques ao CPS; ii) identificar as propriedades de *Cyber-Physical Systems* e suas diferenças em relação a segurança em TI; e iii) discutir mecanismos de segurança aplicáveis aos sistemas físicos cibernéticos. Por fim, [Graham et al., 2009] ainda complementa que arquiteturas e conceitos padronizados se fazem necessários para apoiar a integração, interoperabilidade e estimular inovações em *Cyber-Physical Systems*.

Portanto percebe-se a necessidade de aprofundar os estudos em CPS e verificar suas aplicações atuais bem como os requisitos de CPS a fim de melhor compreender o seu funcionamento. A próxima sessão descreve as aplicações e requisitos encontradas na literatura que tratam estas questões.

### **2.3.2 Principais Tendências e Desafios**

Na literatura diversos trabalhos vem sendo desenvolvidos associados a aspectos teóricos, desenvolvimento e aplicações em CPS. No que tange à desafios teóricos pode-se citar [Shi et al., 2011]: i) Controle de energia ([Parolini et al., 2010, Jiang et al., 2010, Verissimo, 2015, Gharavi et al., 2015]; ii) Controle de segurança [Singh and Sprintson, 2010, Gamage et al., 2010, Mitchell et al., 2013, Mitchell and Chen, 2014]; iii) Gestão e

transmissão [Ahmadi et al., 2010]; iv) Modelo baseado em *design* de *software* [Li et al., 2010, Zhu et al., 2010, Nuzzo et al., 2015] v) Técnicas de controle [Huang et al., 2010, Ny and Pappas, 2010].

Segundo [Krogh, 2008], CPS's podem ser aplicados nas mais diversas áreas tais como: saúde ([Wang et al., 2011, Jung and Cho, 2013, Schirner et al., 2013, Haque et al., 2014]), controle de tráfego e segurança ([Singh and Sprintson, 2010, Sridhar et al., 2012]), sistemas automotivos avançados ([Wolf, 2014]), otimização de energia ([Zhao et al., 2013]), sistemas de aviação ([Sampigethaya and Poovendran, 2013]), infraestruturas críticas (água, energia) ([Fitzgerald et al., 2012]), robótica distribuída [Wang et al., 2015], sistemas militares [Tang et al., 2012], manufatura [Lee et al., 2015], sistemas biológicos [Roysam, 2007], sistemas de comunicação [Li et al., 2014], entre outros. Algumas aplicações de CPS vem sendo conduzidas em [Dragomirescu, 2010, Dillon and Chang, 2010, Lee and Sokolsky, 2010, Madden et al., 2010, Cristalli et al., 2013, Hu et al., 2013, Marin et al., 2013, Colombo et al., 2014, Lee et al., 2015].

[Asare et al., 2012] apresenta uma visão geral das questões associadas ao desenvolvimento de CPS (Figura 2). Pode-se perceber que há três grandes categorias para o desenvolvimento de CPS: i) definições; ii) requisitos; e iii) aplicações. 2:



Figura 2: Sistemas Ciber-físicos: Mapa Conceitual [Asare et al., 2012]

A seguir serão detalhados os elementos apresentados na Figura 2. No que tange aos sistemas de controle por-se citar:

1. Realimentação humana: refere-se ao grau de participação humana na tomada de decisão;
2. Rede distribuída: nível de controle de redes distribuídas (sem o ou com fio) para conexão de sensores, atuadores e outros componentes no CPS. Tem como objetivo verificar se sensores/atuadores, bem como outros componentes conectados estão ativos no sistema.
3. Adaptação e predição: nível de presença de estratégias de controle que permitam que o CPS seja adaptável (respondendo as mudanças nos processos físicos e cibernéticos), bem como preditivo (antecipando mudanças nos processos físicos);
4. Inteligência: capacidade de tomada de decisão inteligente, ou seja, simulação das capacidades humanas de aprendizagem, compreensão ou percepção a fim de prever possíveis comportamentos do sistema e como estes o afetam de forma geral;
5. Tempo real: presença de modelos de programação que garantam que o tempo de resposta do sistema seja em tempo “aceitável” e determinado;

No que tange aos requisitos relacionados a segurança de CPS:

1. Resiliência: no contexto do CPS, a resiliência é a capacidade que um sistema tem de continuar a funcionar satisfatoriamente quando está sobrecarregado por entradas inesperadas, falhas de subsistema ou condições ambientais que estão fora da faixa de operação especificada. A tolerância a falhas, detecção de falhas, e adaptação são algumas das técnicas para promover a resiliência em CPS;
2. Privacidade: no contexto de CPS, a privacidade deve incluir a capacidade de proteger informações sobre os seres humanos ou máquinas não autorizados;
3. Ataques maliciosos: todos os sistemas de computação em rede enfrentam risco de ataques maliciosos. Como as redes CPS são mais “abertas”, eles também tornam-se vulneráveis. Portanto deve-se incluir em CPS a capacidade de detectar estes tipos de ataques (ataque de portas de serviço, ataque de negação de serviço, cavalo de troia, entre outros);
4. Detecção de intrusos: deve-se considerar as intrusões físicas e virtuais. Tecnologias que podem ser utilizadas incluem - visão embarcada (detecção de movimento, detecção humana, reconhecimento de face) e modelos de temporização (permitir a detecção de anomalias temporais, que podem revelar intrusão);

No que tange aos requisitos sobre metodologia para desenvolvimento CPS relacionados a especificação, modelagem e análise:

1. Modelo híbrido e heterogêneo: inclusão da capacidade de abstração entre os modelos físico e digitais com objetivo de fornecer tecnologias para projetar e analisar sistemas em rede híbridos com cibernética integrada, engenharia e elementos humanos;
2. Rede: CPS normalmente envolvem múltiplas plataformas computacionais que interagem através de redes de comunicação. Portanto alguns pontos devem ser observados - i) técnicas de controle de acesso a mídias e seus efeitos sobre a dinâmica do sistema; ii) *middleware*, *softwares* e APIs que fornecem coordenação através da rede; iii) controle sobre o tempo de transações de rede; e iv) tolerâncias a falhas;
3. Interoperabilidade: deve-se incluir a centralização da interoperabilidade de CPS, ou seja, a troca de informações entre diversos subsistemas que compõem o CPS deve ser feita por um elemento central do sistema. Isto por que CPS se caracterizam pela sua natureza heterogenia e exigem uma vasta quantidade de tecnologias para fornecer aporte para seu funcionamento;
4. Sincronização temporal: deve-se incluir a sincronia temporal por meio de um sistema distribuído a fim de detectar falhas remotamente, bem como permitir a datação dos dados provenientes dos sensores do CPS;

No que tange aos requisitos sobre metodologia para desenvolvimento CPS relacionados ao gerenciamento de complexidade e escalabilidade:

1. Componibilidade e modularidade: a maior parte dos CPS são formados por um conjunto de subsistemas (módulos) os quais são normalmente desenvolvidos por diferentes equipes de diferentes organizações. A modularidade é a capacidade de projetar subsistemas (módulos) com interfaces bem definidas a fim de utilizar suas funcionalidade em diferentes contextos. A componibilidade é a habilidade de combinar diferentes módulos;
2. Síntese: a utilização de técnicas e modelos para síntese de implementações pode gerar melhores resultados do que se fossem feitos sem eles;
3. Interfaces com outros sistemas: integrar projetos existentes (sistemas externos) em novos projetos é uma necessidade prática para muitas aplicações de CPS;

No que tange aos requisitos sobre metodologia para desenvolvimento CPS relacionados a validação e verificação:

1. Garantia: a fim de garantir a confiabilidade deve-se fornecer evidências de que um projeto é válido. Para tal, pode-se utilizar testes exaustivos com o sistema, utilizar provas formais documentadas ou testes com protótipos;

2. Certificação: a certificação é o processo de obtenção de aprovação para um projeto por uma autoridade de certificação, como um órgão de regulamentação;
3. Simulação: a simulação é o processo de validar um projeto imitando seu comportamento para um determinado conjunto de entradas; e
4. Modelos estocásticos: modelos estocásticos fornecem subsídios para qualquer verificação probabilística ou validação estatística. Verificação probabilística pode afirmar, por exemplo, que um projeto vai ficar dentro dos parâmetros operacionais para todas as entradas possíveis. Já a validação estatística pode afirmar, por exemplo, que uma grande percentagem de cenários de utilização resultará em um desempenho satisfatório para o utilizador. Em suma modelos estocásticos são particularmente úteis para avaliar a confiabilidade de um sistema, fornecendo tanto probabilidades de falha ou estatísticas sobre fracasso.

Percebe-se até o momento que as questões relacionadas ao desenvolvimento e aplicação de CPS em diferentes áreas foram apresentadas e detalhadas. A próxima sessão apresenta exemplos de arquiteturas CPS, bem como estas são avaliadas em relação aos requisitos detalhados até o momento.

### 2.3.3 Exemplos de Arquiteturas

Em [Tan et al., 2008], Figura 3, é realizada uma definição CPS, bem como é proposto um protótipo de uma arquitetura. Os autores demonstram que sua arquitetura captura os atributos essenciais de um CPS, bem como apresenta a identificação de muitos desafios de pesquisa. A seguir são apresentados os elementos desta arquitetura:

- Tempo Global de Referência: refere-se ao tempo, o qual é fornecido pela rede. Este tempo deve ser comum a todos elementos da arquitetura, ou seja, deve ser aceito por todos os componentes do sistema, incluindo os seres humanos, dispositivos físicos e lógica cibernética.
- Motivação de Eventos/Informações: assim como os seres humanos são motivados por eventos/informações, futuros CPSs também devem ser motivados por eventos/informações. Além disso, seres humanos tem o discernimento entre eventos e informações. Eventos são “fatos brutos” relatados por unidades de sensores/humanos (chamados de eventos do sensor) ou “as ações” feitas por unidades do atuador/humanos (chamados de eventos atuador). A informação é a abstração do mundo físico feito por unidades de controle do CPS ou seres humanos através de processamento de eventos.
- Quantificador de Confiança: qualquer evento/informação da arquitetura deve conter as seguintes propriedades: i) Tempo de Referência Global - Tempo comum à

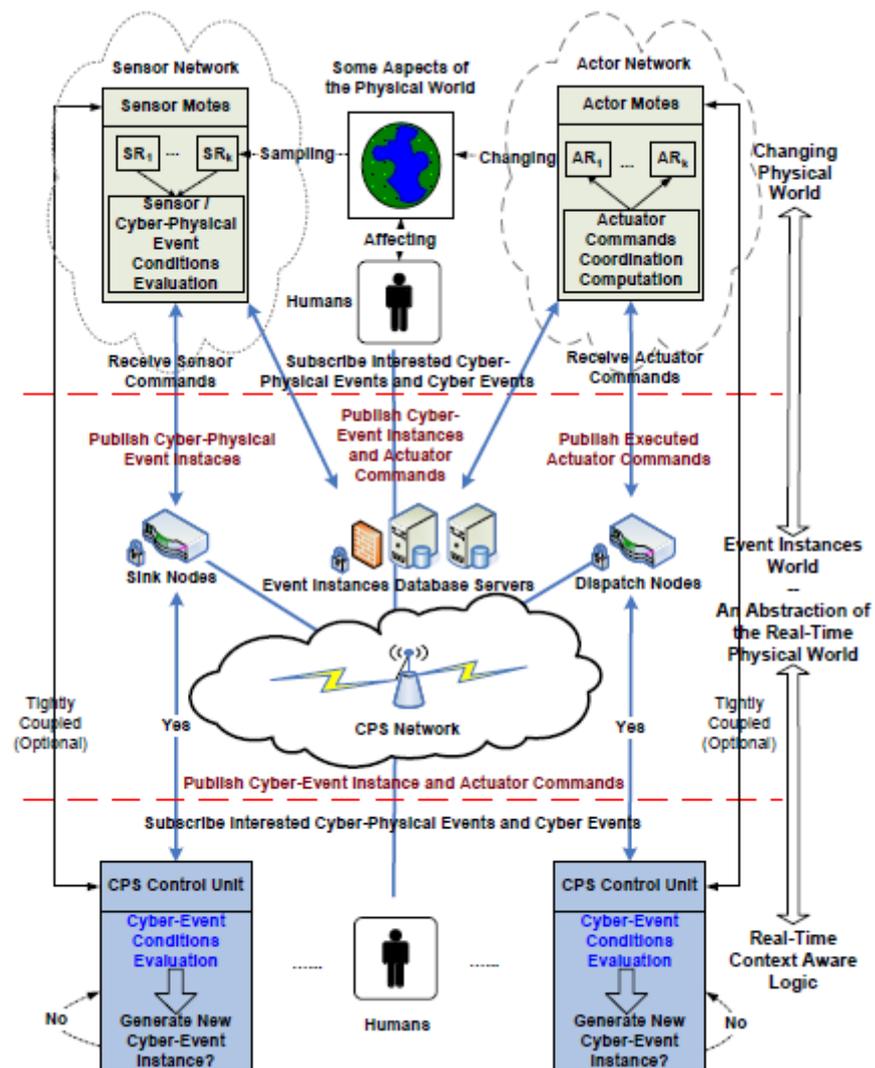


Figura 3: Arquitetura CPS proposta por [Tan et al., 2008]

todos elementos do sistema; ii) Tempo de Vida - Período de tempo que ocorre um evento; iii) Confiança - Grau de confiabilidade do evento/informação; vi) Assinatura e Autenticação de Código Digital - Garantia de segurança para o sistema; v) Confiabilidade e Criticidade - Critérios de avaliação para o evento/informação;

- Esquema de Publicação e Assinatura: a partir de um esquema de publicação e assinatura, cada unidade de controle CPS se comporta como um ser humano, que se inscreve para eventos/informações interessantes com base no objetivo do sistema e os publica quando necessário.
- Leis de Controle de Semântica: normalmente definido em um Evento-Condição-Ação, formam o núcleo de cada unidade de comando no CPS. Com a abstração do mundo físico em tempo real pode-se controlar com precisão comportamentos do sistema relacionados com o contexto do ambiente, de acordo com o que usuário definiu como condições/cenários.
- Novas Técnicas de Rede: além de fornecer um tempo de referência global, a rede também deve proporcionar eventos/informações para novos esquemas de roteamento e gerenciamento de dados. Cada nó da rede deve usar um esquema de *publish-like* para a passagem de eventos/informações para seus nós vizinhos com base na confiança atual. Uma vez que a confiança dos eventos/informações cai para zero, o valor de deixar estes eventos/informações continuarem “ao vivo” na rede é zero. As redes seguras do servidor de banco de dados de conhecimento só aceitam os dados quando eles expirarem, e serve como um backup de conhecimento.

Em [Akanmu et al., 2013], Figura 4, apresenta um crescente aumento no uso de modelos virtuais na indústria de construção, e concentra-se em descrever o papel de coordenação entre modelos virtuais e físicos para a melhoria do processo de entrega de projeto. Interno a isso, uma arquitetura CPS para o sistema de indústria de construção é apresentada a seguir, ilustrando as tecnologias necessárias para facilitar a coordenação entre o modelo virtual e físico.

- Camada de Sensoriamento: a camada de sensoriamento consiste em sensores que monitoram diferentes aspectos do processo de construção e/ou instalação, por exemplo, o sensor de temperatura (para monitorizar a temperatura de um espaço). Dependendo do tipo de sensor utilizado, esta camada também pode fornecer ao pessoal de construção, acesso para controlar decisões, por exemplo, informações capturadas na memória do tag RFID.
- Camada de Dispositivo: a esta camada consiste nos dispositivos clientes (tais como PDAs, tablet PCs, iPads e smartphones), através do qual o usuário final (por exemplo, pessoal de construção no local) pode interagir com o sistema. Esta camada

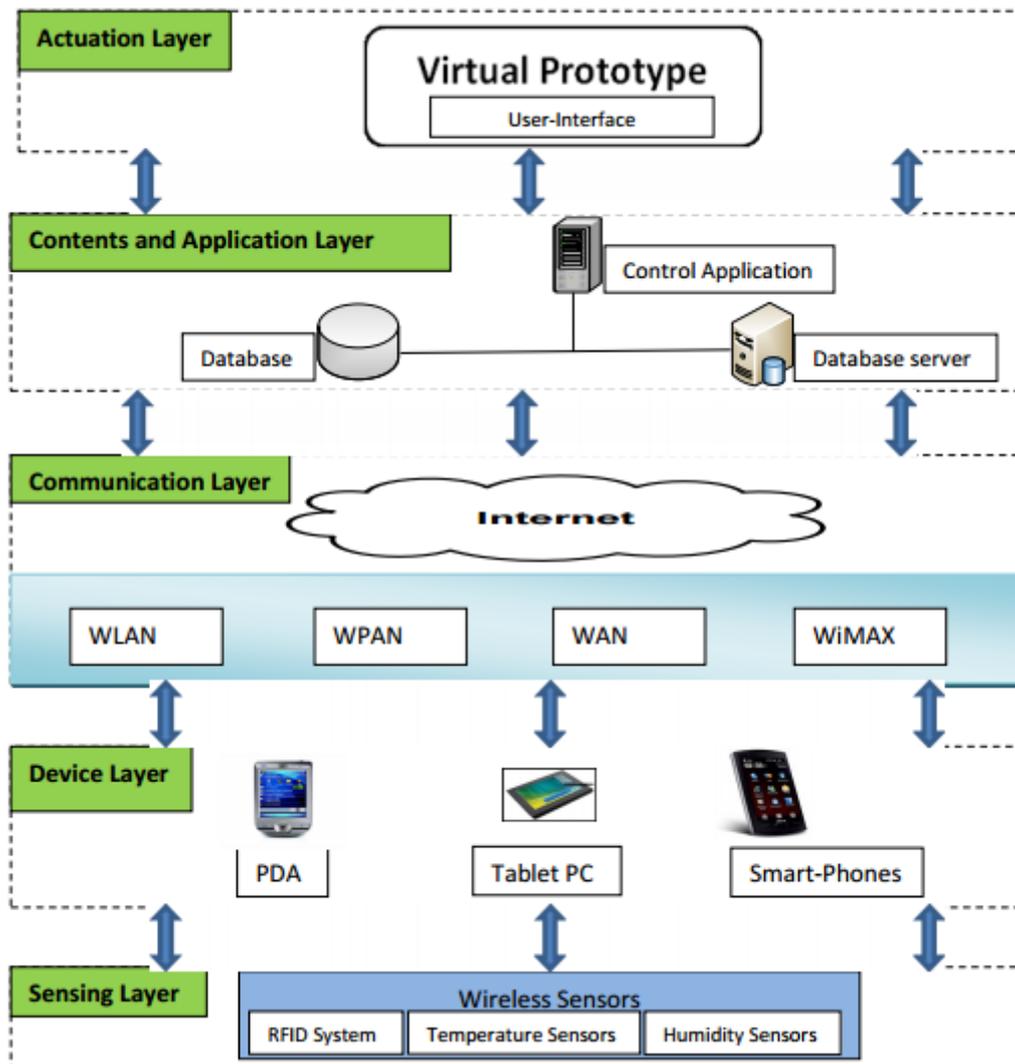


Figura 4: Arquitetura CPS proposta por [Akanmu et al., 2013]

serve a dois propósitos: fornecer acesso aos dados de sensoriamento da camada de detecção e permitir a entrada de informações por meio da interface do usuário.

- Camada de Comunicação: esta camada contém redes de comunicação sem fio e *Internet*. Estas redes ligam diversos dispositivos (móveis e outros) para permitir a colaboração e o compartilhamento de informação entre o pessoal da construção no local e os escritórios de *design* dos consultores. As redes de comunicação também permitem que os dados recolhidos nos dispositivos móveis sejam transferidos através da *Internet* para o banco de dados do conteúdo e aplicação de camada.
- Camada de Aplicação e Conteúdo: a camada de aplicação e conteúdo contém o banco de dados local, servidor de banco de dados e aplicação de controle. O tipo de aplicação de controle depende do contexto da aplicação em que o sistema é colocado. Esta camada armazena, analisa e é constantemente atualizada com informações coletadas de ambas as camadas de comunicação e atuação. As informações armazenadas incluem dados de gerenciamento de projetos como o tipo de componente e aplicação de dados específicos. As aplicações de controle usam os dados detectados a partir do banco de dados para tomar decisões de controle que podem ser visualizadas usando o protótipo virtual na camada de atuação.
- Camada de Atuação: a camada de atuação contém o protótipo virtual que é acessado através da interface do usuário. O protótipo virtual permite ao usuário visualizar como as informações detectadas (a partir do conteúdo e camada de armazenamento) afetam o sistema. A interface do usuário permite ao usuário visualizar e controlar a informação detectada a partir do conteúdo e da camada de armazenamento. O usuário também pode incorporar decisões de controle para o protótipo virtual usando os dispositivos móveis na camada do dispositivo.

Em [Wang et al., 2011], Figura 5 apresentam uma arquitetura CPS chamada de CPeSC<sup>3</sup>. Esta arquitetura é utilizada como base para sistemas de monitoramento de saúde e é composta pelos módulos de comunicação e sensoriamento, computação e segurança, escalonamento em tempo-real e gestão de recursos. É importante ressaltar que mesmo o módulo de segurança não sendo um módulo separado, ele pode ser aplicado a ambos os módulos de computação e comunicação. A seguir os módulos são apresentados:

- Módulo de Comunicação e Sensoriamento: responsável por garantir que tarefas com restrições de tempo, a serem executadas em larga escala através da rede de sensores sem fio, possam ser concluídas sem consequências indesejadas. Este módulo foi desenvolvido para prover uma camada de abstração de métodos de comunicação em tempo-real em CPS sem fio, com componentes móveis sob topologias de rede dinâmicas de forma a garantir a execução das tarefas.

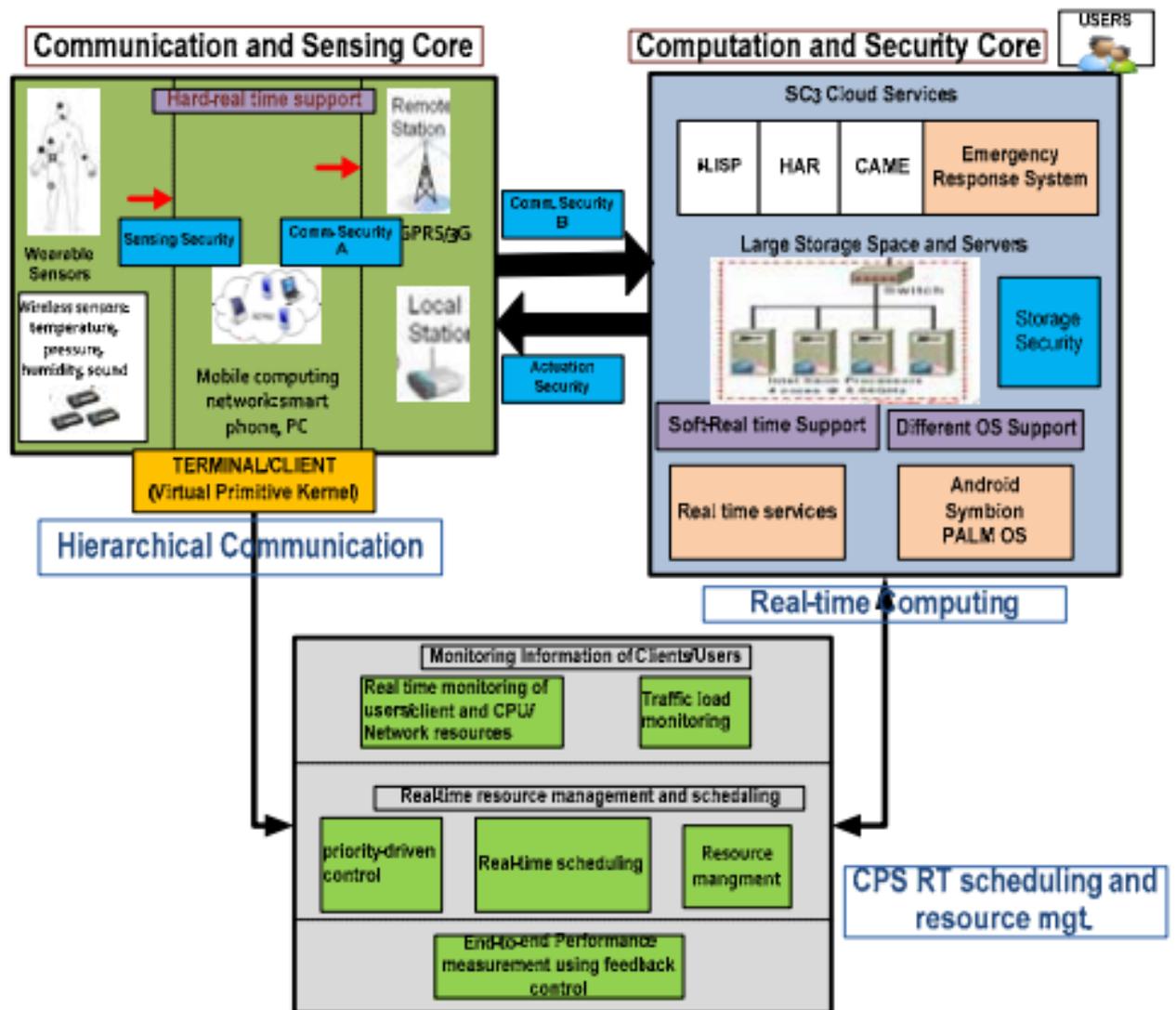


Figura 5: Arquitetura Lógica Modularizada CPeSC<sup>3</sup> [Wang et al., 2011]

- **Módulo de Computação:** módulo responsável por prover serviços em nuvem seguros e de alto desempenho, integrando dispositivos móveis com a nuvem e apoiando diferentes tipos de sistema operacional (OS), plataformas, etc. Estes serviços devem possibilitar aos usuários da camada superior aplicações como rede social de médicos para o acompanhamento da saúde do paciente, a análise de dados ambientais, a previsão de tráfego urbano e rede de análise, etc.
- **Escalonamento em Tempo-Real e Gestão de Recursos:** buscando atender a crescente demanda dos usuários, novos algoritmos para programação em tempo-real e gerenciamento de recursos devem ser desenvolvidos. O módulo de escalonamento em tempo-real e gestão de recursos implementa sobre a camada inferior a medição do desempenho no cliente/servidor ou no cliente da nuvem com base nos dados em tempo real recolhidos por diferentes sensores e câmeras. Este módulo também implementa na camada intermediária, técnicas de priorização para gerenciar as respostas emergentes como cuidados médicos de saúde, acidente transporte, apagão ou blecaute, etc.
- **Módulo de Segurança:** módulo responsável por duas partes da arquitetura, segurança de detecção e comunicação, e segurança de armazenamento e atuação. No que diz respeito a segurança de detecção e comunicação, implementa um mecanismo distribuído o qual examina constantemente o sistema a fim de detectar anomalias, depois criptografa os dados reais detectados com uma chave compartilhada ou simétrica. Se algum relatório de mau comportamento é obtido no sistema de *check-up*, uma parte do sistema será derrubada. Desta forma as partes do sistema a que podem ser afetadas ou atacadas podem ser protegidas. Quanto ao tratamento da segurança do armazenamento e da atuação, a arquitetura implementa um mecanismo baseado em recuperação de arquivos e erros que possibilita detectar qualquer modificação não autorizada de dados ou corrupção devido ao comprometimento do servidor ou falhas aleatórias.

A arquitetura proposta por [Botelho, 2015] (6), denominada OMNE, é abordada em um contexto industrial no qual busca desenvolver metodologias e técnicas que permitam a interação dos diferentes elementos em CPS industriais. A partir do seguinte cenário tecnológico, relacionam-se as informações: i) elementos físicos que constituem a planta industrial; ii) elementos virtuais compostos por *softwares*; e iii) agentes humanos, vislumbra-se implementar os seguintes módulos no sistema OMNE:

- **Módulo OMNE-H:** camada responsável pela interação com seres humanos permitindo a recepção das requisições e apresentações das informações do CPS através de interfaces adequadas. Esta camada pode ser vista na arquitetura como camada de interação humana;

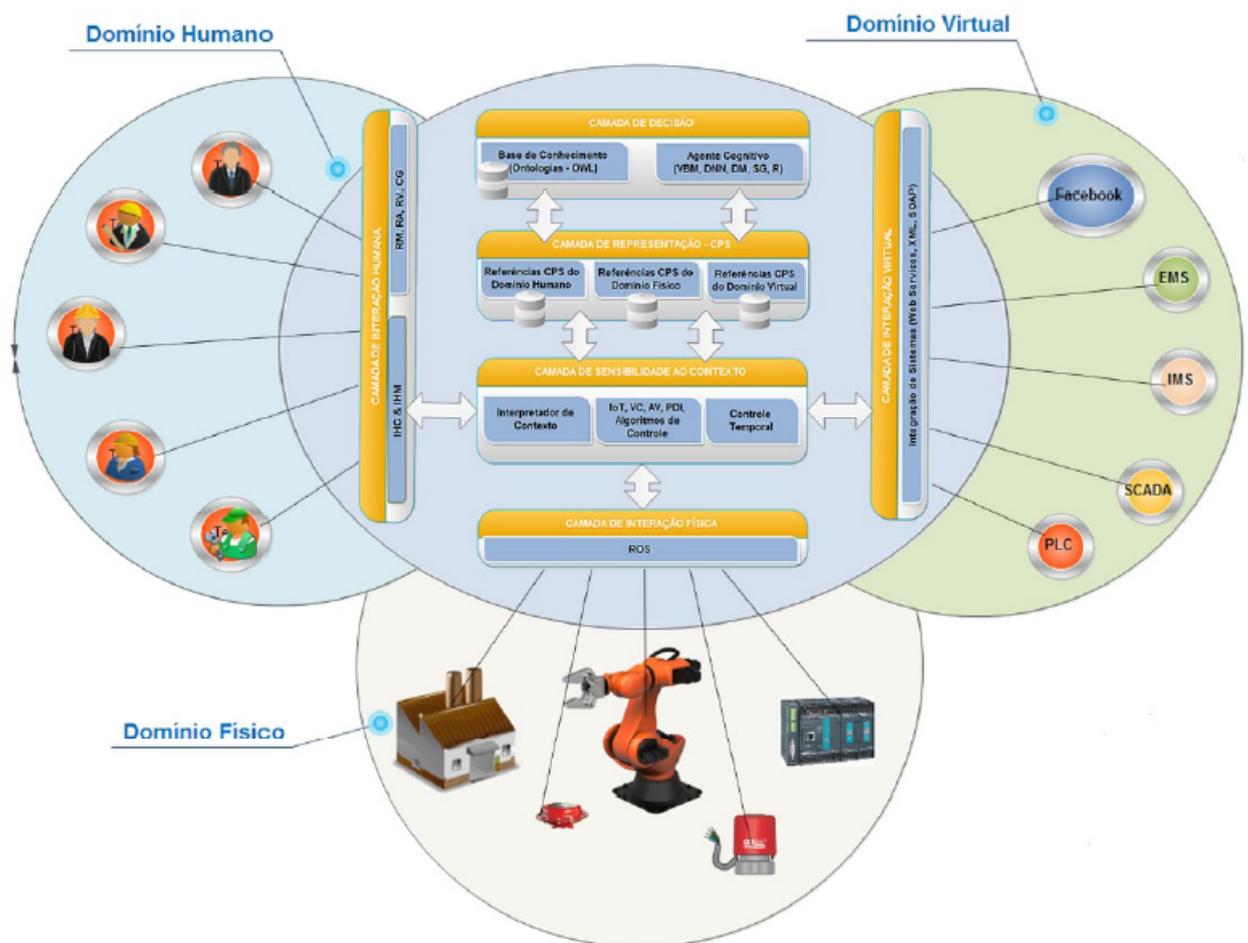


Figura 6: Arquitetura OMNE proposta por [Botelho, 2015]

- Módulo OMNE-P: camada responsável pela interação com elementos físicos presentes na planta (máquinas, sensores, coisas) permitindo a recepção das requisições e apresentações das informações do CPS através de *drivers* adequados para os componentes físicos presentes no cenário. Esta camada pode ser vista na arquitetura como camada de interação física.
- Módulo OMNE-V: camada responsável pela interação com elementos virtuais utilizados no gerenciamento industrial permitindo a recepção das requisições e apresentações das informações do CPS. Esta camada pode ser vista na arquitetura como camada de interação virtual.
- Módulo OMNE-S: responsável por implementar a sensibilidade ao contexto (percepção e atuação) no CPS, bem como conciliar a discrepância temporal decorrente do domínio discreto para o contínuo. Esta camada pode ser vista na arquitetura como camada de sensibilidade ao contexto.
- Módulo OMNE-O: este módulo congrega o conhecimento do sistema permitindo a implementação de diferentes tipos de ontologias, tais como: domínio, aplicação e tarefas.
- Módulo OMNE-A: agente cognitivo responsável pela decisão de mais alto nível a serem tomadas de forma autônoma pelo CPS.

A partir das arquiteturas CPS's apresentadas anteriormente pode-se perceber algumas diferenças e semelhanças, as quais serão apresentadas na Tabela 1. A tabela 1 foi desenvolvida com base no mapa conceitual referente a sistemas ciber-físicos [Asare et al., 2012], já detalhado na seção anterior.

Tabela 1: Análise de características das arquiteturas [Wang et al., 2011, Akanmu et al., 2013, Tan et al., 2008, Botelho, 2015]

Característica	Arquitetura de [Wang et al., 2011]	Arquitetura de [Akanmu et al., 2013]	Arquitetura de [Tan et al., 2008]	Arquitetura de [Botelho, 2015]
realimentação humana	+	++	+	+
redes ou distribuídos	+	+	+	+
adaptativos e preditivos	-	-	-	+
inteligencia	++	?	+	+
tempo real	++	?	+	+
Segurança com relação a resiliência	?	-	-	-
Segurança com relação a privacidade	+	?	+	-
Segurança com relação a ataques maliciosos	+	-	-	-
Segurança com relação a detecção de intrusos	-	-	-	+
Modelo híbrido e heterogêneo	+	+	-	++

Legenda: + nível de presença; - não contém; ? não informado.

Característica	Arquitetura de [Wang et al., 2011]	Arquitetura de [Akanmu et al., 2013]	Arquitetura de [Tan et al., 2008]	Arquitetura de [Botelho, 2015]
Ferramentas para melhoria de projeto	-	-	-	-
Redes de comunicação	+	+	++	+
Interoperabilidade	?	+	?	++
Sincronização de tempo	+	?	++	++
Componibilidade e modularidade	+	++	?	++
Síntese	-	-	?	-
Interface com sistemas legados	?	?	-	+
Garantia	?	-	-	-
Certificação	-	-	-	-
Simulação	-	-	-	-
Modelo Estocástico	-	-	-	-

Legenda: + nível de presença; - não contém; ? não informado.

Neste capítulo foram apresentadas as aplicações de CPS's em diversas áreas. Alguns trabalhos demonstram as tendências e arquiteturas para implementação de CPS's. Além disto, a partir da revisão da literatura pode-se notar a ausência de persuasão em CPS's, ou seja, ainda não foi explorado explicitamente a aplicação de CPS que tenham como foco principal a persuasão do indivíduo frente a mudança de comportamento e atitudes. Assim, diante de tais vantagens e desafios de CPS e das possíveis oportunidades originais do seu uso para persuasão apresenta-se como proposta deste trabalho o desenvolvimento de uma arquitetura persuasiva baseada em CPS. A partir da avaliação das arquiteturas demonstradas neste capítulo, a arquitetura de [Botelho, 2015] contempla a maior parte das características avaliadas. Portanto, para a proposta deste trabalho será levada em consideração a arquitetura de [Botelho, 2015] como base para o desenvolvimento de uma arquitetura persuasiva baseada em CPS a qual será definida no próximo capítulo.

## 3 ARQUITETURA PERSUASIVA BASEADA EM CPS

Este capítulo tem como objetivo apresentar uma arquitetura persuasiva baseada em CPS (Figura 7) levando em consideração as características da arquitetura proposta por [Botelho, 2015] a fim de estimular a mudança de comportamento nos usuários que interagem com o CPS por meio de um agente persuasivo na camada de decisão. O agente persuasivo tem como propósito interpretar os dados provenientes de diferentes módulos da arquitetura e interagir com o usuário, visando à sua mudança de comportamento. Além do agente persuasivo, foi necessário o desenvolvimento de um módulo na camada de sensibilidade ao contexto, denominado controle de recomendação. O controle de recomendação interpreta os dados obtidos mediante interações com os usuários e os transforma em conhecimentos relevantes para as próximas decisões.

A arquitetura persuasiva baseada em CPS é composta por três domínios<sup>1</sup>: i) Humano - Domínio que representa os usuários que interagem com a arquitetura; ii) Virtual - Sistemas e *softwares* que interagem com a arquitetura e iii) Físico - Dispositivos, sensores e atuadores que percebem os elementos físicos do ambiente e interagem com a arquitetura. A arquitetura também é composta por seis camadas<sup>2</sup> (Interação Humana, Interação Física, Interação Virtual, Sensibilidade ao Contexto, Representação e Tomada de Decisão). Cada uma das camadas desta arquitetura possui uma funcionalidade, as quais serão descritas a seguir:

### 3.1 Camada de Interação Física

Esta camada permite a interação entre os diferentes elementos do Domínio Físico, a troca de informações entre o CPS e os dispositivos físicos. Um conjunto de dispositivos presentes nesta camada deve ser capaz de enviar e requisitar informações do meio através de diferentes protocolos de comunicação. Além disso, as informações circulantes desta camada serão utilizadas para verificar, através da observação do meio, os níveis de habilidade e motivação de um usuário, os quais serão analisados pela camada de tomada de decisão.

---

<sup>1</sup>Espaços compostos por elementos semelhantes os quais interagem com a arquitetura

<sup>2</sup>Conjunto de recursos e funcionalidades específicas a fim de cumprir um objetivo comum

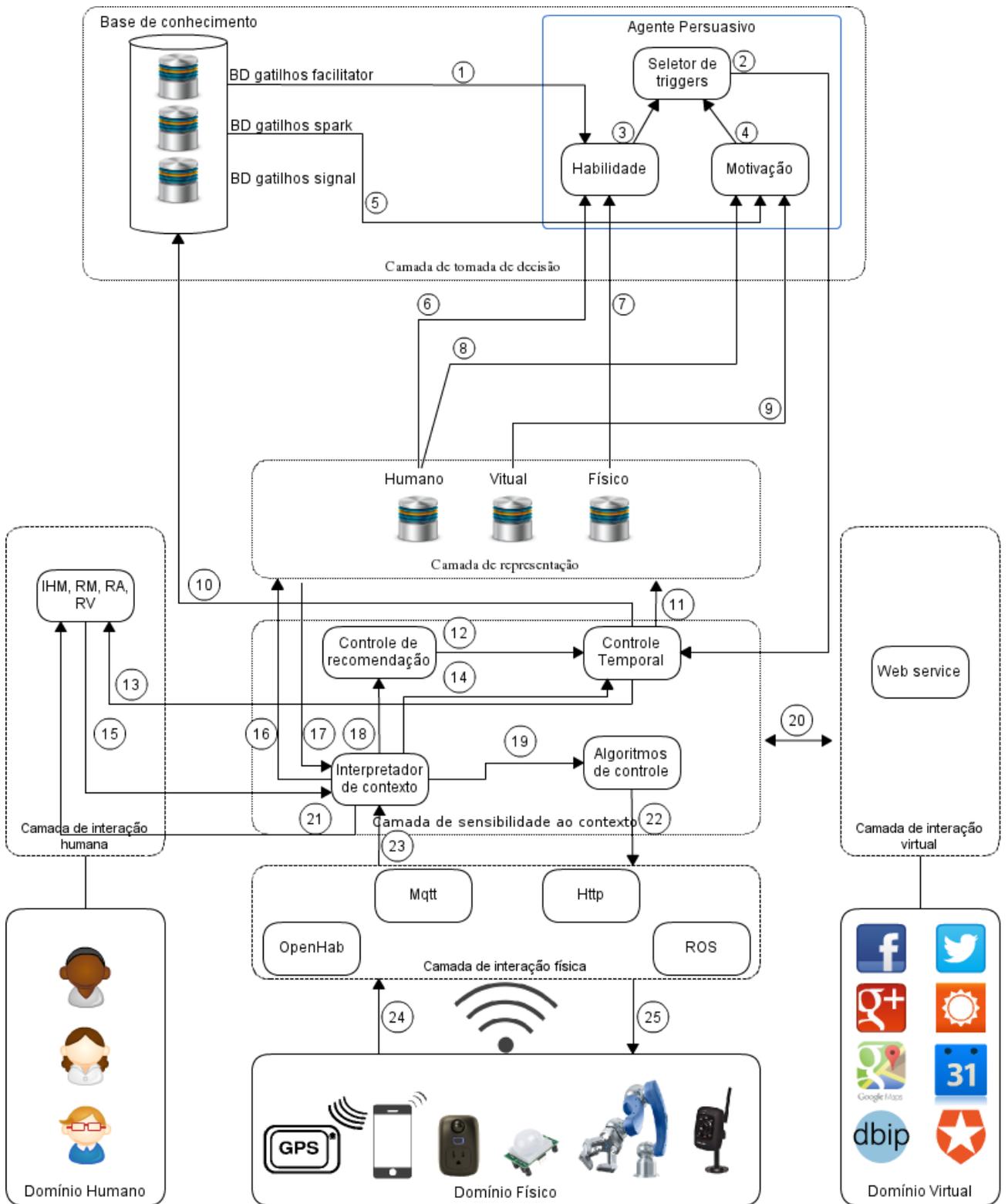


Figura 7: Arquitetura persuasiva baseada em CPS

### 3.1.1 Módulos e Componentes

A camada de interação física é composta pelos módulos mqtt, http, ROS e OpenHab. Cada módulo tem como objetivo estabelecer a conexão entre os elementos do domínio físico e o CPS. Dependendo da área de aplicação da arquitetura pode-se adotar a utilização de um ou mais módulos para estabelecer a conexão. A seguir são melhor detalhadas as principais características de cada módulo.

- MQTT – O MQTT (*MQ Telemetry Transpor*) foi criado em meados de 1999, por Andy Stanford-Clark (IBM) e Arlen Nipper [MQTT, 2010]. É um protocolo voltado para troca de mensagens entre dispositivos com restrição de processamento, com baixa largura de banda e alta latência. É baseado na arquitetura *publish/subscribe*. Atualmente, encontra-se na versão 3.1, a especificação do MQTT apresenta uma série de características do protocolo [MQTT, 2010]: i) Uso de TCP/IP para fornecer conectividade; ii) Pequena sobrecarga de transporte e trocas minimizadas de protocolos para reduzir o tráfego na rede; e iii) Mecanismo que notifica partes interessadas quando um cliente se desconecta da rede de forma anormal.

O protocolo MQTT é baseado no modelo cliente/servidor [JAFNEY, 2014]. Os clientes são dispositivos que se conectam a um servidor (chamado de *broker*) usando TCP. As mensagens transmitidas são publicadas em um endereço (chamado de tópico), por exemplo, casa/quarto/temperatura. Clientes, por sua vez, podem se inscrever para vários tópicos, tornando-se capazes de receber as mensagens que outros clientes publicam neste tópico. A figura 8 apresenta uma rede conectando três clientes com um *broker* central.

Em [Nicholas, 2012] uma comparação entre os protocolos HTTPS e MQTT é feita, concluindo que o protocolo MQTT se mostra mais eficiente em relação ao envio e recebimento de mensagens, bem como no consumo de energia, banda de Internet e processamento. É importante citar que o protocolo MQTT é utilizado pelo *facebook* em seu *messenger* [Zhang, 2011].

Conclui-se então que o MQTT é um protocolo que se mostra ideal para comunicação “Máquina para Máquina” (M2M) e também para IoT. Ademais, aconselha-se o uso deste protocolo em aplicativos móveis, nos quais o consumo de energia e largura de banda são fatores importantes [MQTT, 2010].

- HTTP – O protocolo de transferência de hipertexto (HTTP) é um protocolo para sistemas de informação de hipermídia, distribuídos e colaborativos. O HTTP é a base para comunicação de dados da *World Wide Web* (WWW) e vem sendo utilizado desde 1990 para este propósito. A primeira versão do protocolo HTTP (HTTP/0.9) era um simples protocolo para transferência de dados brutos por meio

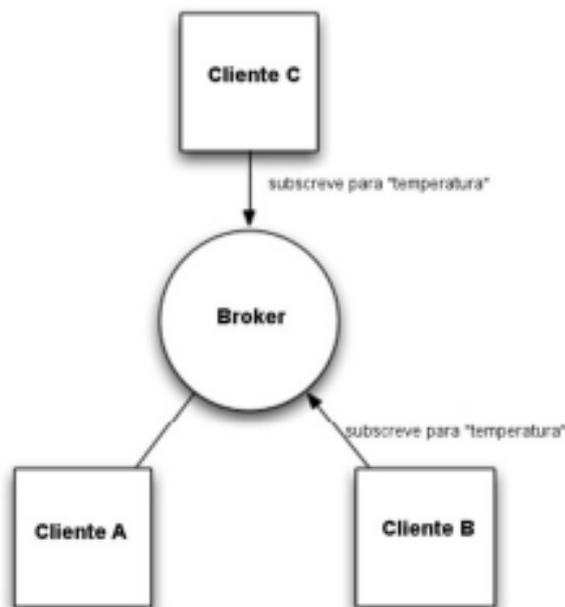


Figura 8: Subscrição de tópicos ao broker [JAFNEY, 2014]

da *Internet*. O HTTP/1.0 foi melhorado, permitindo a troca de mensagens no formato MIME (extensões multi função para mensagens de *Internet*), isto é, contendo meta informações sobre os dados transferidos e modificados pela semântica de requisição e resposta do protocolo. Em 1999, definiu-se o HTTP/1.1. Este protocolo teve modificações que permitiram que as requisições e respostas pudessem ser realizadas em uma única conexão. Em 2014 foi divulgado a atualização para versão HTTP/2.0, a qual deixaria o navegador mais seguro e com um melhor tempo de resposta, melhorando a navegação em *smartphones* [Fielding and Reschke, 2014].

Conclui-se que o protocolo HTTP é ideal para a troca de informações entre o cliente e o servidor e não M2M, pois necessita de uma largura de conexão mais estável e consome maior largura de banda para realizar a troca de informações. No entanto, se necessário, pode-se utilizar este protocolo em comunicação M2M (*Machine to Machine*) utilizando *websockets*.

- ROS – ROS (Robot Operating System) é um *framework* flexível para escrever *softwares* para robôs [Quigley et al., 2009]. O sistema é uma coleção de ferramentas, bibliotecas e convenções. Esta coleção visa simplificar a tarefa de construir o comportamento de um robô complexo e robusto, por meio de uma ampla variedade de plataformas robóticas. O ROS fornece abstração de *hardware*, *drivers* de dispositivo, bibliotecas, visualizadores, transmissão de mensagens e gerenciamento de pacotes [Quigley et al., 2009].

O ROS foi construído para incentivar a robótica colaborativa no desenvolvimento de *software*, pois é independente da linguagem de programação e de sistema ope-

racional. As principais bibliotecas do cliente (C ++, Python, LISP) apresentam códigos-fonte abertos e livres para uso comercial e pesquisa. A maioria dos pacotes estão licenciados sob uma variedade de licenças de código aberto. Estes pacotes implementam funcionalidades e aplicações, tais como *drivers* de *hardware*, modelos de robôs, tipos de dados, planejamento, percepção, mapeamento e localização simultâneos, ferramentas de simulação e outros algoritmos comumente usados [Quigley et al., 2009].

Em suma, o ROS fornece abstração de *hardware*, dispositivo de *drivers*, bibliotecas, visualizadores, transmissão de mensagens, gerenciamento de pacotes, entre outras a fim de auxiliar no desenvolvimento de aplicações para robôs. O ROS está licenciado sob uma fonte aberta, a licença BSD (*Berkeley Software Distribution*) [ROS, 2014].

- OpenHab – É uma solução de *software* livre para integração de diferentes sistemas de automação residencial e tecnologias em uma única solução. Isso permite regras mais abrangentes de automação e oferece interfaces uniformes de usuários. Esse *software* é independente de *hardware* e de sistema operacionais, e não pretende substituir soluções existentes, mas sim melhorá-las [OpenHab, 2014].

Um aspecto importante da arquitetura OpenHAB (figura 9) é o seu *design* modular, que facilita a adição de novos recursos (como a integração com outro sistema), permitindo adicionar e remover características em tempo de execução. Esta abordagem modular tem sido um facilitador no uso deste.

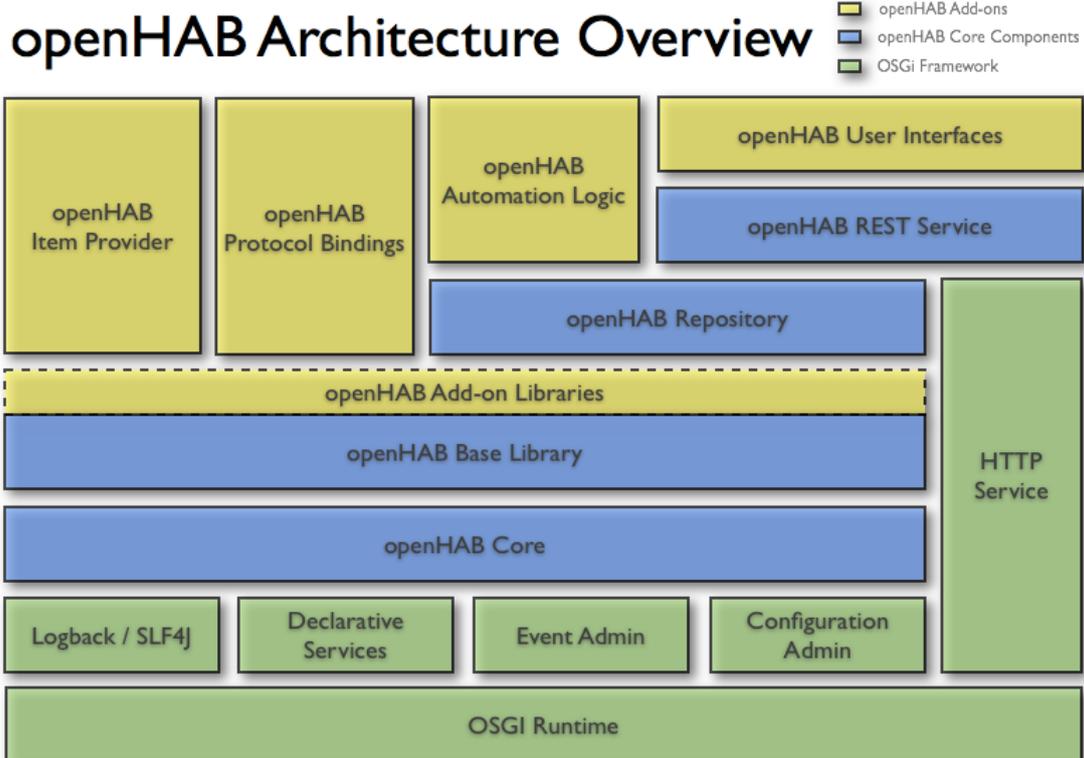


Figura 9: Arquitetura OpenHAB <http://www.openhab.org/features/architecture.html>

Em suma, o OpenHab tem como objetivo facilitar a comunicação com alguns dispositivos físicos existentes no mercado focados em automação residencial (Anexo B deste trabalho). Além disto, o OpenHab fornece as telas de interação com os dispositivos físicos [OpenHab, 2014]. Contudo, as telas geradas pelo OpenHab não incluem estratégias de persuasão.

Portanto, da mesma forma que o ROS é aplicado no âmbito da robótica, o OpenHab pode ser considerado um *middleware* que facilita a comunicação com os dispositivos físicos para automação residencial, auxiliando a camada de interação física a conectar sensores e atuadores ao CPS.

### 3.1.2 Fluxo de informação

Pode-se perceber na figura 7 a entrada e saída de informações na camada de interação física. Estas informações estão representadas pelas setas 22, 23, 24 e 25 na arquitetura. Para uma melhor compreensão do funcionamento da camada de interação física ilustra-se na Tabela 2 o fluxo de informações e seu significado.

Tabela 2: Entradas e saídas da camada de interação física da arquitetura persuasiva baseada em CPS

Número da seta	Informação	Módulos ou camadas relacionado(a)s Saída/Entrada
22	Comandos de controle ou alteração de configuração de dispositivos físicos	Algoritmos de controle/Camada de interação física
23	Dados brutos do domínio físico e id do dispositivo	Camada de interação física/Camada de sensibilidade ao contexto
24	id do dispositivo, tipo de protocolo de comunicação, porta de comunicação, endereço do servidor (broker ou http), codificação dos dados (UTF-8, UTF-16, UTF-32, entre outros), login e senha	Domínio Físico/Camada de interação física
25	Dados de controle e id do dispositivo	Camada de interação físico/Domínio físico

As informações representadas pela seta número 23 serão utilizadas para identificar parte da habilidade e motivação do usuário. Exemplos de informações circulantes nesta camada são: localização de um usuário a partir de um GPS, o qual retornará dados brutos como latitude e longitude; temperatura; *frames* de câmeras; variáveis de presença provenientes de um sensor infravermelho; sensor de luminosidade.

Estas informações serão processadas pela camada de sensibilidade ao contexto e posteriormente armazenadas na camada de representação.

## 3.2 Camada de Interação Humana

Responsável por estabelecer a comunicação entre o usuário e o sistema, ou seja, fornecer diferentes tipos de interfaces, bem como, permitir a troca de informações entre ambos (entradas e saídas de dados).

Em suma, a camada de interação humana será responsável por receber as entradas fornecidas pelos usuários (resposta dos gatilhos (*feedback*), configurações de sensores, informações pessoais e eventos para atuação no domínio físico) e fornecer as interfaces do sistema (gatilhos e informações sobre sensores) a fim de realimentar o sistema. Assim, a camada de interação humana torna-se parte do processo para identificação dos níveis de

habilidade e motivação, auxiliando na seleção dos ”melhores”gatilhos a serem fornecidos para o usuário.

Esta camada foi desenvolvida com base na metodologia para desenvolvimento de interfaces persuasivas proposta por [dos Santos Rios, 2015]. Esta metodologia fornece subsídios para o desenvolvimento prático de interfaces com foco na persuasão do usuário.

### 3.2.1 Módulos e componentes

Esta camada contém um módulo que contempla diferentes tipos de Interfaces, desde as mais simples, como interfaces web, até interfaces avançadas que utilizam recursos de computação gráfica (modelagem de objetos em duas ou três dimensões), realidade mista, virtual e aumentada (representação de informações virtuais no mundo real, e também, representações reais no mundo virtual). Destas foram disponibilizadas as seguintes ferramentas e tecnologias:

- Recursos de Computação Gráfica: para a implementação deste tipo de recurso disponibiliza-se a ferramenta Unity <sup>3</sup>. Esta apresenta recursos de simulação gráfica e física, assim como a capacidade de apresentação de componentes em duas e três dimensões (2D e 3D)[Unity, 2015].
- Recursos de Realidade Aumentada: apresenta-se a biblioteca Vuforia (uma API para realidade aumentada) <sup>4</sup> para implementar este tipo de tecnologia. Esta API fornece uma serie de bibliotecas e abstrações para implementação de realidade aumentada as quais agilizam o processo de desenvolvimento deste tipo de tecnologia.

### 3.2.2 Fluxo de Informações

Pode-se perceber na figura 7 a entrada e saída de informações na camada de interação humana. Estas informações são representadas pelas setas 13, 15 e 21 na arquitetura. Para uma melhor compreensão do funcionamento da camada de interação humana, a Tabela 3 ilustra o seu fluxo de informações.

## 3.3 Camada de interação Virtual

Responsável pela interação do CPS com sistemas externos (redes sociais, interfaces baseadas em serviços na nuvem, sistemas de gerenciamento financeiro, entre outros) capazes de interagir virtualmente com o CPS por meio de interfaces baseadas em *webservices*. Esta camada é a responsável pela integração de dados entre o CPS e aplicações externas, e tem como principal objetivo verificar informações virtuais sobre usuários a fim de auxiliar a verificação dos níveis de habilidade (localização aproximada do dispositivo

---

<sup>3</sup><https://unity3d.com/pt>

<sup>4</sup><https://developer.vuforia.com/library/getting-started>

Tabela 3: Entradas e saídas da camada de interação humana da arquitetura persuasiva baseada em CPS

Número da seta	Informação	Módulos ou camadas relacionado(a)s Saída/Entrada
13	id do gatilho, momento de envio do gatilho (representação temporal), e id do usuário	Controle temporal/IHM
15	Resposta de um gatilho, momento de resposta (representação temporal), atuação no domínio físico/virtual, informações de configuração do sistema ou solicitações de informações históricas	IHC/Interpretador de contexto
21	Informação do domínio físico processadas	Interpretador de contexto/IHC

utilizado pelo usuário fornecidos por sistemas externos e compromissos agendados em calendários virtuais pelo usuário). E motivação (temperatura local, likes em redes sociais, grupos que o usuário pertence, quais temas ele publica e tem interesse, número de amigos em redes sociais).

### 3.3.1 Módulos e Componentes

A Camada de interação virtual é composta pelo módulo denominado *webservice*, o qual é responsável por fornecer a interface de comunicação com sistemas externos. A comunicação com diferentes tipos de sistema ocorre por meio de chamadas de serviços utilizando protocolos de comunicação *Web*. Geralmente utiliza-se o protocolo *http/https* para chamadas destes tipos de serviços. Um exemplo prático é a utilização do serviço disponibilizado pelo *Facebook* para realização do *login* em outros sistemas.

Na figura 7 é possível perceber alguns sistemas presentes no domínio virtual os quais possuem API's (Interface de Programação de Aplicações) bem documentadas, que auxiliam no desenvolvimento do módulo *webservice* na camada de interação virtual. Entre as aplicações destes sistemas externos pode-se citar: i) *Facebook* - o *Facebook* possui uma API chamada de Graph<sup>5</sup> a qual tem a finalidade de fornecer informações sobre usuário, caso ele permita, para outros sistemas. Esta API permite até mesmo que sistemas externos ao facebook possam publicar e gerenciar eventos por meio da API; ii) *Twitter*<sup>6</sup> e *Google+*<sup>7</sup> - da mesma forma que a API do *Facebook*, estas API's tem a finalidade de fornecer informações sobre o usuário e possibilitar que sistemas externos possam postar e ler informações presentes nestas redes sociais; iii) *Accuweather* - uma API<sup>8</sup> que tem finalidade de fornecer as condições climáticas atuais de vários lugares do mundo; iv) Ca-

<sup>5</sup><https://developers.facebook.com/docs/graph-api>

<sup>6</sup><https://dev.twitter.com/rest/public>

<sup>7</sup><https://developers.google.com/+/web/api/rest/>

<sup>8</sup><http://api.dev.accuweather.com/developers/>

lendário do Google - esta API<sup>9</sup> tem a finalidade de fornecer informações sobre a agenda do usuário bem como agendar os compromissos do mesmo. v) dbip - esta API<sup>10</sup> tem como finalidade fornecer a localização aproximada do usuário por meio do seu IP. Caso o GPS de um usuário não esteja ativo, pode-se utilizar esta API para localizá-lo; e vi) Google Maps - esta API<sup>11</sup> auxilia a identificação dos locais que o usuário esta ou passou. Portanto é possível perceber quanto tempo ele passa no trânsito, quais os locais que ele mais frequente, entre outras informações.

Em suma, as API's disponibilizadas têm por finalidade verificar diferentes categorias e níveis da motivação do usuário, por exemplo em relação a sua aceitação/rejeição social. Pode-se inferir seu grau de motivação a partir das redes sociais (número de amigos, compartilhamentos, *likes*, postagens, entre outras). Além disto, informações sobre participação em eventos (tempo livre e ocupado) e a localização do usuário podem ser utilizadas para verificar os diferentes níveis e categorias de habilidade.

Outro exemplo refere-se a obtenção de níveis de motivação em relação ao prazer/dor a partir de informações como a temperatura, estação do ano e clima fornecidas pela API AccuWeather. Supõe-se um cenário onde a temperatura esteja baixa e o objetivo do CPS é a economia de energia. O prazer do usuário estará baixo caso tenha que escolher desligar um aquecedor para economizar energia.

### 3.3.2 Fluxo de Informações

Pode-se perceber na figura 7 a entrada e saída de informações na camada de interação virtual. Estas informações são representadas pela seta número 20 na arquitetura. Esta seta representa o fluxo de informações sobre o usuário entre a camada de sensibilidade ao contexto e a camada de interação virtual. As informações sobre o usuário representam os dados sigilosos a fim de conectar o CPS com sistemas externos. Esta conexão tem por objetivo receber informações virtuais sobre o usuário de sistemas externos a fim de avaliar características que possibilitem mensurar a habilidade e a motivação do usuário (detalhados na camada de tomada de decisão). Além disto é possível enviar informações utilizando o mesmo fluxo por meio desta camada. Saídas como Post, likes, agendamento virtual de compromissos, *checkin* em diferentes lugares são previstos por esta camada.

## 3.4 Sensibilidade ao contexto

Esta camada é responsável por receber, interpretar e encaminhar informações entre as diferentes camadas do sistema. Além disto, esta camada compreende atribuição semântica de recomendação (pontuação) aos gatilhos que interagem com o domínio humano a fim de auxiliar na verificação de quais são os melhores gatilhos para cada usuário.

<sup>9</sup><https://developers.google.com/google-apps/calendar/>

<sup>10</sup><https://db-ip.com/api/>

<sup>11</sup><https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/?hl=pt-br>

### 3.4.1 Módulos e Componentes

A camada e sensibilidade ao contexto é composta por quatro módulos:

- Interpretador de contexto – responsável por interpretar os dados provenientes das diferentes camadas do sistema, ou seja, deve adquirir e tratar a procedência dos dados, processá-los e encaminhar as informações resultantes aos respectivos destinos. Este interpretador também é responsável pelo controle de segurança, impedindo os acessos indevidos e gerenciando os diferentes níveis de acesso do sistema.
- Algoritmos de controle – compreende os algoritmos de controle associados aos elementos físicos do CPS. Por exemplo, controlar as juntas de um braço manipulador robótico em uma tarefa de soldagem robotizada.
- Controle temporal – é responsável pela sincronia de tempo entre o mundo real e o virtual. Haja visto que o domínio físico está descrito na forma contínua e o domínio virtual na forma discreta, surge a necessidade de um controle temporal que mantenha a consistência entre esses domínios. Assim, os elementos pertencentes ao domínio (físico, virtual ou humano) interagem e mudam em função do tempo, ou seja, necessitam do registro e controle temporal para garantir a sincronia entre os elementos do sistema.
- Controle de Recomendação – tem a finalidade de atribuir um peso de recomendação a um gatilho disparado para o domínio humano do CPS em função do seu sucesso frente à persuasão. A recomendação tem como principal objetivo verificar quais os melhores gatilhos enviados aos usuários. Para isso, um *ranking* de gatilho é montado a partir das respostas do usuário (interações entre gatilho e usuários), ou seja, se o gatilho receber uma resposta positiva (aproximar o usuário do seu objetivo), esta recebe uma pontuação maior, caso contrário, recebe uma pontuação menor. A recomendação inicial de cada gatilho é fixada no início do sistema. Além disso o controle de recomendação atualiza os níveis de habilidade e motivação do usuário em relação as interações com os gatilhos, isto é, caso o usuário responda positivamente a um gatilho (*spark* ou *facilitator*) o controle de recomendação deve aumentar o nível de motivação ou habilidade atual do usuário. Caso o usuário responder negativamente ao gatilho, o controle de recomendação deve reduzir o nível de motivação ou habilidade.

### 3.4.2 Fluxo de Informações

Pode-se perceber na figura 7 as entradas e saídas de informações na camada de sensibilidade ao contexto. Estas informações são representadas pelas setas 10, 11, 12, 13, 14,

15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 e 22 na arquitetura. Para uma melhor compreensão do funcionamento da camada de interação humana ilustra-se na Tabela 4 o fluxo de informações e seu significado.

Tabela 4: Entradas e saídas da camada de sensibilidade ao contexto da arquitetura persuasiva baseada em CPS

<b>Número da seta</b>	<b>Informação</b>	<b>Módulos ou camadas relacionado(a)s Saída/Entrada</b>
10	gatilhos com o tempo de resposta do usuário e id do usuário relacionado	Controle temporal/Base de conhecimento
11	Informações advindas de um dos domínios (humano, virtual ou físico) com o tempo de recebimento dos dados, bem como o seu destino.	Controle temporal/Camada de representação
12	gatilhos com a devida recomendação inserida e id do usuário	Controle de recomendação/Controle temporal
13	gatilhos com o tempo de disparo inserido e id do usuário	Controle temporal/IHM
14	Dados processados advindos do domínio físico	Interpretador de contexto/Controle temporal
15	Resposta de um gatilho, atuação no domínio físico/virtual, informações de configuração do sistema ou solicitações de informações históricas	IHC/Interpretador de contexto
16	Solicitação de informações históricas de um dos domínios (humano, virtual ou físico) e o período temporal	Interpretador de contexto/Camada de representação
17	Informações históricas de um dos domínios (humano, virtual ou físico)	Camada de representação/Interpretador de contexto
18	Resposta do gatilho sem a recomendação e id do usuário	Interpretador de contexto/Controle de recomendação
19	Comando do usuário para atuar no ambiente ou alteração de configuração de dispositivos físicos	Interpretador de contexto/Algoritmos de controle
20	Informações sobre o usuário	Camada de sensibilidade ao contexto/Camada de interação Virtual
21	Informação do domínio físico processadas	Interpretador de contexto/IHC
22	Comandos de controle ou alteração de configuração de dispositivos físicos	Algoritmos de controle/Camada de interação física

### 3.5 Camada de Representação

Deve manter um conjunto de estados dos elementos dos domínios (humano, físico e virtual). Esses estados servem para simplificar a validação e integração entre as camadas de sensibilidade ao contexto e decisão. Em outras palavras, a camada de representação é formada pelas informações (atuais e históricas) dos domínios do sistema.

#### 3.5.1 Módulos e componentes

A camada de representação é composta por repositórios, coleções de objetos ou bancos de dados os quais tem a finalidade de persistir os dados de forma confiável e segura para o sistema. Em outras palavras, os componentes da camada de representação devem armazenar todos os dados e informações provenientes dos diferentes domínios do sistema em seus respectivos destinos.

As informações (humano/virtual - número de likes em redes sociais, posts, compartilhamentos, grupos, tempo livre, localização; físico - temperatura, hora, clima, estação do ano, entre outras, presença humana, consumo de energia, consumo d'água, luminosidade, entre outras) retidas nos repositórios desta camada são necessárias para realização do cálculo de habilidade e motivação (detalhadas na camada de tomada de decisão).

#### 3.5.2 Fluxo de Informações

Pode-se perceber na figura 7 a entrada e saída de informações na camada de representação. Estas informações são representadas pelas setas 6, 7, 8, 9, 10 e 11 na arquitetura. Para uma melhor compreensão do funcionamento da camada de interação humana ilustra-se na Tabela 5 o fluxo de informações e seu significado.

### 3.6 Camada de Decisão

O objetivo desta camada é dotar a arquitetura persuasiva de capacidade para tomar decisões e disparar eventos. Além disto, deve ser responsável por interpretar as informações provenientes da camada de representação e de sua base de conhecimento. A partir de então, mensurar o grau de habilidade e motivação do usuário. Por fim, a camada de decisão deve ser capaz de gerar o gatilho mais adequado para enviar ao usuário a fim de persuadí-lo a atuar sobre o ambiente.

#### 3.6.1 Módulos e Componentes

Esta camada contará com dois módulos principais, conforme estão descritos a seguir:

- Base de Conhecimento – formada por todos os gatilhos dos sistema, as quais devem ser cadastradas conforme o FBM [Fogg, 2002] (seção 2.2.1). É possível que os gatilhos contenham também estratégias de persuasão de acordo com os fatores

Tabela 5: Entradas e saídas da camada de representação da arquitetura persuasiva baseada em CPS

Número da seta	Informação	Módulos ou camadas relacionado(a)s Saída/Entrada
6	Informações do domínio humano	Humano/Habilidade
7	Informações do domínio físico	Spark/Habilidade
8	Informações do domínio humano	Humano/Motivação
9	Informações do domínio Virtual	Virtual/Motivação
10	gatilhos com o tempo de resposta do usuário e id do usuário relacionado	Controle temporal/Base de conhecimento
11	Informações advindas de um dos domínios (humano, virtual ou físico) com o tempo de recebimento dos dados, bem como o seu destino.	Controle temporal/Camada de representação
16	Solicitação de informações históricas de um dos domínios (humano, virtual ou físico) e o período temporal	Interpretador de contexto/Camada de representação
17	Informações históricas de um dos domínios (humano, virtual ou físico)	Camada de representação/Interpretador de contexto

descritos por [Cialdini, 2002] e [Hogan, 2010] no Capítulo 2. No entanto, os gatilhos devem pertencer a uma das três categorias definidas por [Fogg, 2009] (*Spark*, *Facilitator* ou *Signal*). Neste contexto propõe-se a utilização da seguinte estrutura para o armazenamento de um gatilho: i) idgatilho - identificador de um gatilho, representado por um número inteiro gerado automaticamente pelo sistema; ii) Tipo - tipo de gatilho de acordo com o FBM, ou seja, pode ser um gatilho para motivação (*spark*), habilidade (*facilitator*) ou um lembrete (*signal*); iii) Grupo - o FBM descreve motivação e habilidade como fruto de uma série de fatores já descritos na seção 2.2.1. Estes fatores são representados como o grupo que o gatilho pertence; e iv) conteúdo - conteúdo a ser enviado ao usuário a fim de tentar persuadí-lo. Este conteúdo pode conter imagens, vídeos, sons, textos, entre outros.

Ademais, a base de conhecimento persiste todas informações provenientes das interações do sistema com o usuário, ou seja, as respostas de cada gatilho que foram enviados ao usuário são armazenados na base de conhecimento. Estas respostas tem como objetivo avaliar o grau de habilidade e motivação do usuário, bem como, otimizar a escolha dos futuros gatilhos em relação a sua recomendação perante ao usuário.

- Agente Persuasivo – Responsável por mensurar o grau de habilidade e motivação, da mesma maneira, selecionar o gatilho mais adequada para o usuário a fim de persuadí-lo. Para isto, o agente persuasivo conta com os seguintes componentes:

– Habilidade – tem como principal objetivo realizar o cálculo do grau de habilidade do usuário do sistema. Para isto, recebe as informações da camada de representação referentes ao domínio físico, humano e base de conhecimento. Basicamente, pode-se levar em consideração alguns aspectos descritos por [Fogg, 2009] para realizar o cálculo do grau de motivação do usuário:

- \* tempo  $\Delta t$ : pode-se levar em consideração a análise da agenda virtual do usuário (ex: calendário do google) para verificar o tempo ocupado e disponível em cada período do dia.
- \* dinheiro  $\Delta d$ : fator obtido através da camada de interação virtual através de integração com sistemas de gerenciamento financeiro pessoal (ex.: BudgetBaker<sup>12</sup>). Também é possível verificar por meio da camada de interação humana informações como mensagens (sms) enviadas ao usuário ao realizar alguma transação bancária (compras, transferências, entre outras) e assim perceber o nível de habilidade monetária do usuário.
- \* esforço físico ( $\Delta e$ ): pode-se verificar este fator avaliando sensores no domínio físico (ex: pedômetro, câmeras, localização, entre outros). A partir de então é possível determinar quantos passos o individuo deu em um dia, quantos quilômetro ele andou, qual trajeto ele seguiu.
- \* ciclos de cérebro ( $\Delta c$ ): é possível verificar a capacidade cognitiva ou nível intelectual de um indivíduo aplicando questionários ou propondo a resolução de algum problema (quebra cabeça, matemática - regra de três, português - acentuação, entre outros).
- \* rotina: pode-se verificar este fator ( $\Delta r$ ) a partir dos três domínios. Em relação ao domínio físico, é possível perceber a localização do usuário via GPS e verificar quais lugares ele mais frequenta. Ademais, é possível perceber padrões de comportamento habituais referentes aos demais sensores (pedômetro - número de passos do usuário; câmera - quais os lugares da casa que ele mais utiliza; medidor de energia - qual o consumo médio deste usuário e quais horários ele costuma deixar ligado os dispositivos; medidor de água - qual o consumo médio de água e quais os momentos do dia que ele utiliza;).

O domínio virtual pode fornecer informações referentes às rotinas diárias, semanais, mensais e anuais do usuário utilizando *webservices* para integração com serviços como por exemplo o calendário do Google. Também é possível encontrar informações sobre as trajetórias habituais do usuário utilizando *webservices* para integração com GoogleMaps.

Por fim, o domínio humano poderá revelar quais são as ações do usuário

<sup>12</sup><http://docs.budgetbakersv30apiv1.apiary.io/#>

perante atuações do sistema, isto é, se o usuário receber um gatilho ele poderá responde-lo imediatamente ou em um outro momento. Portanto, conclui-se que é possível extrair informações referentes aos momentos do dia em que o usuário costuma responder estes gatilhos. Além do mais, é possível perceber também quais são as ações habituais que o usuário executa no sistema por meio da interface. Por exemplo, se o usuário possuir um sistema de gerenciamento de energia, quais são ações habituais do usuário (desligar ou ligar dispositivos? quais os períodos do dia que ocorrem estas ações?).

- \* Desvio social: fator de difícil acesso, pois é complexo afirmar as regras sociais. O que é certo para um determinado grupo de indivíduos pode não ser certo para outro.

Todos elementos envolvidos ( $\Delta t$ ,  $\Delta d$ ,  $\Delta e$ ,  $\Delta c$ ,  $\Delta r$ ) para calcular a habilidade de um usuário devem ser ponderados de forma a gerar o nível de habilidade do usuário a cada instante.

- **Motivação** – tem como principal objetivo calcular o grau de motivação do usuário do sistema. Para isto recebe informações da camada de representação referentes ao domínio virtual, humano e base de conhecimento. Basicamente, pode-se levar em consideração alguns aspectos para realizar o cálculo do grau de motivação do usuário:
  - Motivador social - o primeiro fator a ser calculado é o motivador social, o qual é descrito por [Fogg, 2009] como Aceitação/Rejeição social. Para isto, leva-se em consideração características como compartilhamento de informações em redes sociais, participação em grupos ou eventos, número de *likes*, entre outros. Estas informações podem ser associadas aos objetivos do sistema, e são relacionadas pelo grau de similaridade de palavras. Por exemplo, se o sistema persuasivo tem como objetivo a redução de peso do usuário, pode-se considerar palavras como saúde, *fitness* e calorias para verificar a motivação social do usuário relacionado ao tema em sistemas externos (*facebook*, *google+*, etc).
  - Motivador prazer/dor - o segundo fator a ser calculado é o prazer/dor descrito em [Fogg, 2009]. Para isto, pode-se levar em consideração o tempo de interação do usuário com o sistema persuasivo. Este tempo de interação representa o prazer que o usuário tem de utilizar o sistema. Além disso, pode-se levar em consideração informações como temperatura e clima provenientes do domínio físico (sensor de temperatura, umidade e luminosidade.) ou virtual (API's que retornam informações climáticas). Informações as quais devem ser ponderadas de acordo com os objetivos de cada sistema persuasivo. Por

exemplo, se o objetivo do sistema é auxiliar a prática de esportes (corrida), um clima chuvoso pode reduzir o nível de prazer em correr do indivíduo.

- Motivador Esperança/medo - o terceiro e último fator a ser calculado é a esperança/medo. Para isto leva-se em consideração um valor  $x$  em relação a unidade do objetivo do sistema. Por exemplo, se o sistema persuasivo tem como objetivo a redução de peso, a unidade base para definir o valor  $x$  pode ser o IMC (índice de massa muscular) ou quilogramas. Este valor  $x$  representa o grau de esperança que o usuário tem em perder peso ou o medo de ganhar peso.

Quando definido esta unidade base, atribui-se um valor discreto a cada variação do valor  $x$  de modo que aumente ou diminua o índice de motivação em relação a esperança/medo.

Pode-se notar que alguns fatores podem ser considerados para mensurar a motivação do usuário. Estes fatores deve ser ponderados a fim de gerar um valor discreto, o qual representa o nível de motivação final do indivíduo.

- Seletor de gatilhos – tem como objetivo selecionar o gatilho mais adequado para o usuário. Para isto recebe informações dos níveis de habilidade e motivação do usuário, igualmente, o conjunto de gatilhos enviadas com suas respectivas respostas (base de conhecimento). A partir de então o seletor de gatilhos avalia se o usuário necessita de mais habilidade ou motivação. Caso o nível de habilidade esteja maior que o nível de motivação o seletor começa uma seleção de gatilhos do tipo *spark* a fim de aumentar a motivação. Caso contrário inicia a seleção de um gatilho *facilitator* a fim de aumentar a habilidade.

Para seleção do gatilho, leva-se em consideração o histórico de respostas do usuário para um determinado tipo de gatilho (*spark* ou *facilitator*). Estas respostas representam o quão relevante ela é para o usuário. Esta informação é chamada de recomendação e é gerada pela camada de sensibilidade ao contexto, mais especificamente, pelo módulo de controle de recomendação, o qual armazena a resposta na base de conhecimento. A partir de então pode-se utilizar os métodos seleção de gatilho. Alguns métodos de seleção serão apresentados a seguir:

- Método da Roleta – realiza a seleção de gatilhos em um conjunto de gatilhos baseado em sua recomendação, isto significa que cada gatilho possui um peso em uma roleta. Assim, os gatilhos com maior peso recebem uma proporção maior na roleta e os gatilhos com menor peso recebem uma proporção menor na roleta. Os gatilhos com maior peso tem probabilidade maior de ser escolhido. Porém, todos gatilhos tem chance de serem escolhidos.

- Algoritmo de Torneio – realiza a seleção a partir de uma amostra de gatilhos. O método seleciona um número  $x$  de gatilhos em um conjunto de gatilhos e a partir de então seleciona algum de forma aleatória.

Por fim, o seletor de gatilhos dispara um gatilho para o usuário a fim de tentar persuadí-lo a executar alguma ação que seja favorável aos objetivos do sistema, e do mesmo modo para o usuário em questão.

Finalmente, o agente persuasivo verifica habilidade e motivação e a partir de então inicia o processo de seleção dos gatilhos. Por fim dispara um gatilho para o usuário em um momento oportuno (Kairos). Este processo está representado na Figura 10.

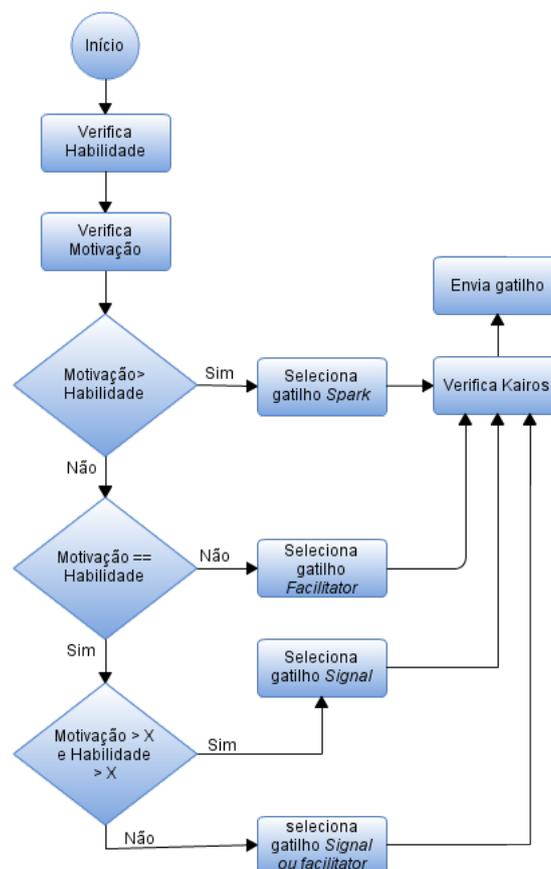


Figura 10: Fluxograma de representação do funcionamento do agente persuasivo.

### 3.6.2 Fluxo de Informações

Pode-se perceber na Figura 7 a entrada e saída de informações na camada de Tomada de Decisão. Estas informações são representadas pelas setas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 na arquitetura. Para uma melhor compreensão do funcionamento da camada de interação humana, ilustra-se na Tabela 6 o fluxo de informações e seu significado.

Este capítulo apresentou uma arquitetura persuasiva baseada em CPS com objetivo de auxiliar no desenvolvimento de tecnologias persuasivas. No próximo capítulo será

Tabela 6: Entradas e saídas da camada de tomada de decisão da arquitetura persuasiva baseada em CPS

<b>Número da seta</b>	<b>Informação</b>	<b>Módulos ou camadas relacionado(a)s Saída/Entrada</b>
1	Conjunto de gatilhos do tipo facilitator com suas respectivas reputações	Base de Conhecimento/Habilidade
2	gatilhos selecionada e usuário a ser entregue	Seletor de gatilhos/Controle Temporal
3	Nível de habilidade do usuário, id do usuário e conjunto de gatilhos do tipo <i>facilitator</i> com suas respectivas reputações	Habilidade/Seletor de gatilhos
4	Nível de motivação do usuário, id do usuário e conjunto de gatilhos do tipo <i>spark</i> com suas respectivas reputações	Motivação/Seletor de g
5	Conjunto de gatilhos do tipo <i>spark</i> com suas respectivas reputações	Base de Conhecimento/Motivação
6	Informações do domínio humano	Humano/Habilidade
7	Informações do domínio físico	Spark/Habilidade
8	Informações do domínio humano	Humano/Motivação
9	Informações do domínio Virtual	Virtual/Motivação
10	gatilhos com o tempo de resposta do usuário e id do usuário relacionado	Controle temporal/Base de conhecimento

apresentado o estudo de caso, ou seja, a aplicação desta arquitetura a fim de validar a proposta deste trabalho.

## 4 SAPIENS: UM SISTEMA PERSUASIVO CPS PARA MUDANÇA DE COMPORTAMENTO COM FOCO NA OTIMIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O capítulo 3 apresentou uma arquitetura persuasiva baseada em CPS com o objetivo de congregar elementos físico e cibernéticos em sistemas persuasivos para mudança de comportamento do usuário.

A arquitetura, é customizada e instanciada para o desenvolvimento de um sistema persuasivo com base em CPS, cujo objetivo é a otimização do consumo de energia elétrica. Este sistema faz parte do projeto SapiEns, e tem como objetivo o estudo e desenvolvimento de metodologias e tecnologias capazes de incluir o consumidor como elemento inteligente em *Smart Grids* sustentáveis e eficientes, de forma a contribuir para o desenvolvimento científico e tecnológico e a inovação do setor elétrico brasileiro. O sistema persuasivo SapiEns está em fase de desenvolvimento e seus resultados preliminares serão apresentados a seguir. O projeto SapiEns apresenta um grande potencial como caso de uso, uma vez que, seu principal objetivo é persuadir o usuário a adotar um consumo sustentável de energia elétrica. A arquitetura genérica proposta no capítulo 3 foi instanciada em um sistema persuasivo desenvolvido especificamente para o projeto.

A Figura 11 apresenta a customização principalmente das camadas circuladas em vermelho: i) Camada de interação física - utiliza-se nesta camada os módulos mqtt e http para interagir com os elementos do domínio físico; ii) Domínio Físico - sensores e atuadores utilizados no projeto SapiEns; iii) Domínio Virtual - sistemas externos que se integram ao sistema SapiEns.

Antes de apresentar as camadas da arquitetura é importante citar que o projeto SapiEns utiliza um *framework* o qual implementa os módulos da arquitetura persuasiva baseada em CPS de maneira genérica. Este *framework* foi desenvolvido pelo autor da proposta juntamente com um aluno de iniciação científica do projeto o qual está detalhado em [Castro, 2015]. Além do *framework*, as seguintes tecnologias são utilizadas para auxiliar na implementação:

- Mongo DB - O MongoDB é uma base de dados NoSQL de alta performance base-

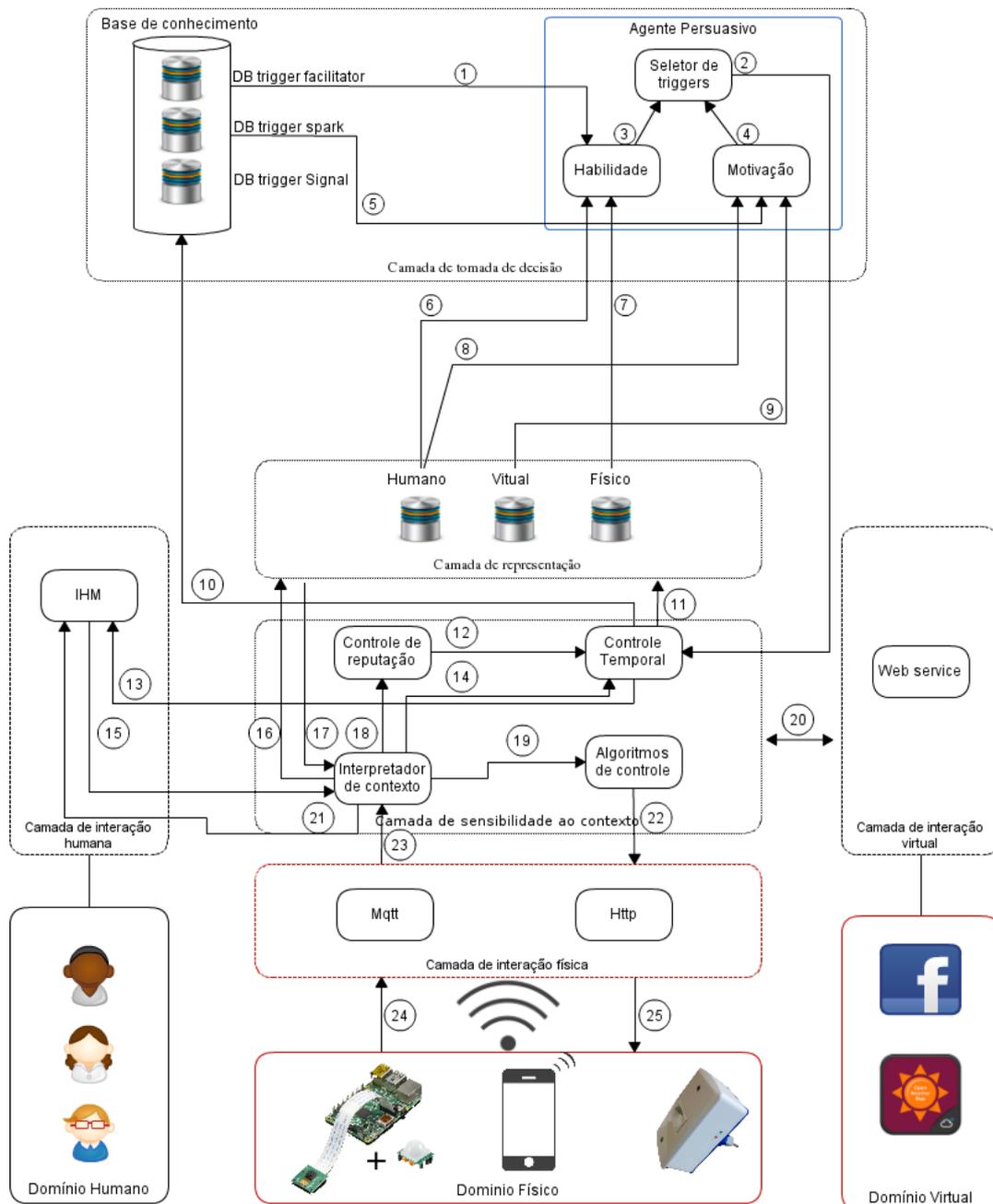


Figura 11: Arquitetura Persuasiva Baseada em CPS utilizada no Projeto SapiEns

ada em documentos, a qual armazena os dados no formato JSON (chamados de esquemas). O Mongoose, por sua vez, é uma biblioteca do Node.js (base tecnológica do *framework*) para modelar os dados da aplicação por meio de esquemas e possui um sistema de conversão de tipos, validação, criação e consultas para banco de dados. O MongoDB será utilizado para armazenar os dados na camada de representação do sistema, bem como na base de conhecimento.

- PhoneGap - PhoneGap é um *framework* para desenvolvimento de aplicativos móveis que interpreta os códigos JavaScript, HTML5 e CSS3 e os converte para as seguintes plataformas: iOS, Android™ e Windows® Phone 8. Os aplicativos resultantes são híbridos, o que significa que estes não são totalmente nativos, ou seja, toda a renderização de *layout* é feito através das *views web* em vez de quadro UI nativa da plataforma. O PhoneGap é responsável pela geração das interfaces do sistema (aplicativo móvel), ou seja, será utilizado na camada de interação humana.

#### 4.1 O Cenário de Aplicação do Sapiens

A ideia do sistema Sapiens é usar tecnologias persuasivas para otimizar o consumo de energia elétrica residencial. O monitoramento do ambiente aconteceu através de tecnologias pervasivas em um sistema ciber-físico. De forma mais precisa, tem-se o seguinte escopo de aplicação:

1. Usuário: consumidor residencial que dispõe-se a utilizar o aplicativo móvel persuasivo e instalar o kit CPS em sua residência.
2. Ambiente a ser monitorado: residência do usuário. Esta receberá os sensores (câmera e medidores de consumo) componentes do CPS.
3. Comportamento a ser modificado: consumo de energia elétrica residencial em Kw/h.
4. Medições de motivação: o grau de motivação do usuário será medido através da aceitação e rejeição social em redes sociais (facebook), bem como a relação de prazer em que o usuário tem de utilizar o aplicativo móvel e por fim os níveis de desperdício de energia em Kw/h a fim de verificar a Esperança/Medo do usuário relacionados ao consumo.
5. Medições de habilidade: o grau de habilidade do usuário será medido através da verificação do tempo de resposta de um usuário a cada evento ocorrido no sistema, ou seja, caso o usuário receber um gatilho notificando-o que esqueceu algo ligado, leva-se em consideração o tempo que o usuário demorou para responde-lo. Além disto também leva-se em consideração o tempo que o usuário leva para desligar um aparelho quando se ausenta de um ambiente.

6. Gatilhos: serão utilizados dez diferentes gatilhos no projetos sapiens. Sendo que cinco são do tipo *spark* e cinco do tipo *facilitator*.

A seguir detalha-se os principais componentes do Sapiens.

## 4.2 Domínio Físico

O domínio físico do projeto visa monitorar as habilidade e motivações do usuários. Para tal foram desenvolvidos dois tipos de dispositivos os quais são apresentados nas Figuras 12 e 13, o *smart plug* para monitoramento de pontos de consumo e a *smart cam* responsável pelo identificação de presença humana no ambiente.



Figura 12: Smart Plug tem a finalidade de medir o consumo de eletricidade dos ambientes e enviar estas informações a camada de sensibilidade ao contexto via protocolo MQTT.

Cada um dos elementos físicos do projeto SapiEns necessita de comunicação com a *Internet (Wifi)* para o seu funcionamento.

**Smart plug:** Este sensor e atuador é capaz de monitorar e acionar os pontos de consumo residenciais de energia elétrica. O *smart plug* é composto pelos seguintes elementos de *hardware*:

- Sensor hall - transdutor que, quando sob a aplicação de um campo magnético, responde com uma variação em sua tensão de saída. Em suma, tem como principal objetivo medir a tensão de um equipamento ligado a ele.

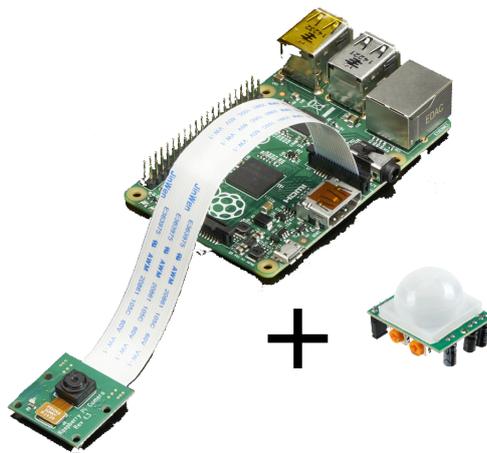


Figura 13: Smart Cam é responsável por verificar se há presença humana no ambiente e enviar estas informações a camada de sensibilidade ao contexto via protocolo MQTT.

- Relé de acionamento - responsável por atuar (ligar ou desligar) sobre o equipamento que esta ligado ao *smart plug*.
- Modulo de comunicação wifi (ESP8266) - módulo responsável por conectar o *smart plug* na rede de internet viabilizando a comunicação com o CPS. Este módulo também é responsável por estabelecer a comunicação interna ao *smart plug* com o relé e sensor hall via pinos GPIO.

A nível de software, a implementação do *Smart Plug* é feita utilizando a linguagem LUA <sup>1</sup>. O dispositivo utiliza um módulo para comunicação com a Internet chamado ESP8266 <sup>2</sup> o qual pode ser implementado em três linguagens(C, LUA, Python). A escolha da linguagem LUA para implementação se deu pelo seu nível de abstração, agilizando o processo de desenvolvimento deste dispositivo.

O *Smart Plug* recebe requisições de um servidor executando uma das possíveis ações: i) pedido de *status* - fornece o estado atual do ambiente (*smart plug* ligado ou desligado, voltagem da rede, consumo, nome do equipamento que esta ligado no *smart plug*, residência que se encontra o *smart plug* e comodo em que se encontra o *smart plug*) ii) ligar - deve ser capaz de acionar o relé; iii) desligar - deve ser capaz de desenergizar o ponto de consumo; e vi) atualizar - recebe informações do servidor quando há alteração em alguma variável que deve ser salva no *smart plug*. Ex.: Dispositivo ligado ao *smart plug*, ambiente que o *smart plug* está instalado, casa que o *smart plug* está instalado ou voltagem da rede.

**Smart Cam:** este dispositivo monitora a presença do usuário nos cômodos da residência. A *smart cam* é composta pelos seguintes elementos de *hardware*:

<sup>1</sup>[http://nodemcu.com/index\\_en.html](http://nodemcu.com/index_en.html)

<sup>2</sup><http://www.embarcados.com.br/modulo-esp8266/>

- Raspberry PI - micro computador o qual tem a finalidade de executar o sistema embarcado desenvolvido para a *smart cam*.
- Câmera - tem a finalidade de capturar imagens do ambiente e envia-las para o raspberry PI;
- Sensor de presença (PIR) - tem a finalidade de detectar presença no ambiente e enviar ao raspberry PI;

A nível de software um algoritmo de detecção de presença embarcado interpreta os dados advindos do PIR e ativa a câmara a fim de verificar se a presença detectada é humana. A *Smart Cam* retornar ao CPS apenas a informação se há presença humana no ambiente ou não. Após identificar se há ou não presença envia os dados para um servidor. Isto garante o sigilo de informações, bem como uma baixa taxa tráfego na rede.

### 4.3 Camada de Interação Física

No âmbito do projeto SapiEns utiliza-se os dois protocolos de comunicação propostos na camada de interação física. O primeiro é o Mqtt, o qual realiza a troca de informações entre os sensores/atuadores do domínio físico (*smart cam* e *smart plug*) e o servidor.

O protocolo http é utilizado para intermediar a troca de informações com os dispositivos móveis (APP's) e os dispositivos físicos. Basicamente, o protocolo http tem a função de receber requisições de atualização de informações de dispositivos físicos via app SapiEns (camada de interação humana) e então encaminhar estas informações via protocolo mqtt para os dispositivos físicos. Por exemplo, se houver a necessidade de mudar o equipamento que esta ligado ao *Smart Plug* o usuário pode atualizar as informações do mesmo, via app utilizando o protocolo http.

### 4.4 Camada de interação virtual

No âmbito do projetos SapiEns a camada de interação virtual é responsável por integrar dois sistemas pertencentes ao domínio virtual:

- *Facebook* – Tem como finalidade solicitar informações ao *Facebook* dos usuários do sistema a fim de melhor calibrar o módulo de motivação (motivador social) utilizando informações críticas como: i) likes - pode-se verificar o número de likes do usuário no facebook relacionados a conteúdos que envolvam os objetivos do sistema Sapiens (Sustentabilidade, economia de energia, redução de gastos); e ii) posts - verifica-se todos os posts do usuário a fim de verificar se há algo relacionado aos objetivos do sistema SapiEns. Além disto, a integração do sistema SapiEns com o facebook prove recursos de acesso (login) para o usuário na camada de interação humana, reduzindo o tempo de cadastro no sistema.

- Accuweather: Tem como finalidade a captura dos dados meteorológicos (temperatura) locais e posterior auxílio a camada de tomada de decisão a calcular o nível de motivação (prazer/dor). Estes dados podem auxiliar a calcular a motivação caso o usuário utilize os *smart plugs* em aparelhos como ar condicionado ou aquecedores.

## 4.5 Camada de tomada de decisão

A camada de tomada de decisão é responsável por prover o sistema SapiEns da capacidade de tomar decisões. Esta camada é composta pelos seguintes módulos:

- Base de conhecimento: a base de conhecimento contém as informações referentes as interações com o usuário, registrando os níveis de motivação e habilidade do mesmo, os quais são calculados respectivamente pelos módulos de motivação e habilidade. A base de conhecimento também é responsável por armazenar todos os gatilhos do sistema. No âmbito do projeto SapiEns utiliza-se um banco de dados não relacional (mongodb) para o armazenamento destas informações. As gatilhos cadastradas no banco de conhecimento do projeto SapiEns são em formato texto e foram classificadas de acordo com o FBM (Figura 14). As interações dos gatilhos com os usuários do sistema geram informações referentes a aceitação ou rejeição das mesmas. Estas informações descrevem a recomendação dos gatilhos para cada usuário, bem como varia os valores referentes a habilidade e motivação. A recomendação é representada por valores discretos no sistema SapiEns e estão associadas a cada usuário e a cada *Smart Plug* (Figura 15);

```
Esquema_triggers_noSQL = {
  idtrigger: 01,
  Tipo: Motivacao,
  grupo: Esperanca,
  texto: "Olá <U>, você esqueceu a(o) <E> ligada(o)!
  Desligando agora você pode ajudar o planeta
  deixando de emitir <CO2> de Carbono. Faça sua
  Parte :)"
};
```

Figura 14: Exemplo simplificado de um gatilho cadastrada no sistema SapiEns

A Figura 14 demonstra como um gatilho é composto no âmbito do projeto SapiEns. Os gatilhos são em formato de texto e possuem caracteres especiais em sua composição (<U>= Usuário, <CO2>= Kg ou g de CO2 em relação ao consumo do *Smart Plug*, <\$>= valor monetário em Reais em relação ao consumo do *Smart Plug*, <A>= número de árvores em relação ao consumo do *Smart Plug* e <E>=

Equipamento ligado ao *Smart Plug*), os quais são substituídos no momento do envio pelas devidas informações.

```
Esquema_interacao_triggers_NoSQL = {
  idtrigger: 01,
  codigousuario: jonas.casarin@gmail.com,
  envio: 1456349576271, //Timestamp
  usuario: Jonas Casarin,
  reputacao: 0.4,
  idplug: 103567862,
  equipamento: TV,
  resposta: 1456349770892, //Timestamp
  status: 1 //1 - aceita, -1 - rejeitada, 0 - não respondeu
});
```

Figura 15: Exemplo de representação de interação de gatilho com o usuário para o sistema

A Figura 15 demonstra como as as interações dos gatilhos com o usuário são armazenadas no sistema. Em suma a estrutura básica de armazenamento é a seguinte: i) *idtrigger* - representa o id do gatilho que foi enviado ao usuário; ii) *codigousuario* - representa o usuário ao qual se enviou o gatilho. iii) *envio* - representa o momento em que o gatilho foi enviada para o usuário (formato timestamp); iv) *usuario* - representa como o usuário é chamado pelo sistema. O próprio usuário informa o seu nome na hora do cadastro; v) *recomendação* - representa qual a recomendação do gatilho para este usuário, ou seja, qual o nível de aceitação do gatilho. Esta informação é atualizada pelo módulo de controle de recomendação na camada de sensibilidade ao contexto; vi) *idplug* - representa o identificador do *Smart Plug* que detectou o consumo; vii) *equipamento* - representa qual o equipamento que estava ligado ao *Smart Plug*; viii) *resposta* - representa o momento em que o usuário respondeu o gatilho enviado; e ix) *status* - representa se o usuário respondeu, (positivamente ou negativamente) ou não o gatilho;

- **Agente persuasivo:** no âmbito do projeto SapiEns o agente persuasivo é ativado por meio da verificação de presença a partir do sensor PIR e câmera no ambiente em que os *Smart Plugs* estão inseridos. Caso os *Smart Plugs* percebam consumo de energia no ambiente em que não há presença humana o agente persuasivo inicia seu funcionamento. Estas condições de ambiente (consumo e ausência) representam o tempo oportuno para o envio do gatilho (kairos). Esta ação é representada na figura 16.

A partir de então cada elemento do agente persuasivo desempenha a seguinte função:

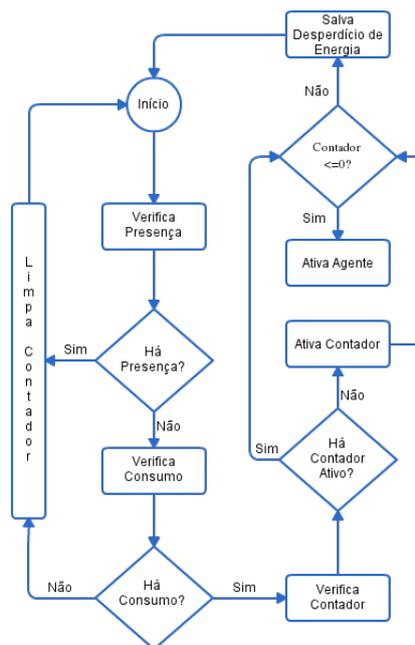


Figura 16: Fluxograma de ativação do Agente Persuasivo

- **Habilidade:** Para verificar a habilidade do usuário o sistema SapiEns utiliza as informações referentes ao tempo médio de resposta de cada gatilho enviado para o usuário. Além disto verifica-se algumas variáveis no domínio físico (presença humana e consumo). Se não houver presença e houver consumo, verifica-se o tempo que o indivíduo leva para desligar o equipamento. Esta informação esta relacionada a habilidade do usuário.

Em sua implementação atual calcula-se a média de tempo de resposta de todos os gatilhos enviados ao usuário que se deseja verificar a habilidade. Após verificar esta média atribui-se uma pontuação a cada faixa de média. Esta pontuação varia entre 0.1 e 1 e é inversamente proporcional ao tempo de resposta, ou seja, quanto menor o tempo de resposta a um gatilho maior a pontuação.

A mesma abordagem é utilizada ao verificar as variáveis do domínio físico, ou seja, caso o usuário leve menos tempo para desligar um equipamento quando não há presença atribui-se uma maior pontuação.

Em suma, associa-se o tempo de resposta dos gatilhos e eventos (presença humana e consumo) ao nível de habilidade do usuário, ou seja, quanto mais rápida a sua resposta a um gatilho mais habilidade ele possui. Esta associação está relacionada ao elemento "tempo" da simplicidade [Fogg, 2009].

- **Motivação:** Este módulo é responsável por calcular o nível de motivação do usuário que está interagindo com o sistema. Para calcular essa motivação é necessário conhecer os objetivos ou interesses do sistema e do usuário. No

sistema SapiEns os interesses do sistema são: i) sustentabilidade; ii) economia de energia e iii) redução de gastos. Os interesses do usuário podem ser adquiridos a partir das redes sociais caso este faça *login* no *Facebook* (camada de interação virtual) ou informar na página de cadastro quais são os interesses em utilizar o sistema SapiEns. Com essas informações o módulo é capaz de efetuar o cálculo do motivador social.

Em um primeiro momento, verifica-se o número de likes e posts do usuário no facebook relacionados a conteúdos que envolvam os interesses do sistema SapiEns. A partir de então verifica-se o número de posts e likes relacionados aos interesses do sistema e atribui-se uma pontuação. Esta pontuação varia entre 0.1 e 1.

Em um segundo momento, o módulo de motivação calcula o motivador esperança/medo verificando desperdício de consumo dos equipamentos eletrônicos do usuário ligados aos *smart plugs*. O desperdício é calculado por meio da avaliação das variáveis do domínio físico, ou seja, caso não haja presença humana no ambiente e haja consumo inicia-se a contagem do desperdício de energia. Após compara-se o consumo total do usuário com o desperdício a fim de verificar a percentagem de desperdício. Por fim, atribui-se a a diferença entre o total e a percentagem de desperdício ( $100 - \% \text{ desperdício}$ ) a variável  $x$ , a qual representa o motivador esperança/medo do usuário.

Por fim, é calculado o motivador prazer/dor no qual percebe-se o tempo de interação do usuário com o sistema atribuindo um valor discreto a variável  $\Delta t$ .

Para isto, o sistema calcula o tempo total que o usuário está cadastrado e verifica a percentagem de tempo em que o usuário está online no sistema. Esta percentagem representa o nível de prazer que os usuário têm em utilizar o sistema.

Ao término do levantamento dos motivadores (social, prazer, esperança) pode-se calcular a motivação total do usuário. Para isto o módulo de motivação pondera o valor de retorno de cada um dos elementos mensurados calculando o nível de motivação de um usuário.

Ao término dos cálculos de motivação e habilidade, inicia-se o processo de seleção dos gatilhos.

- Seletor de gatilhos: É o módulo responsável por selecionar o melhor gatilho a ser enviado ao usuário do sistema. Este módulo seleciona o tipo do gatilho (*spark*, *signal* ou *facilitator*) e busca dentre os gatilhos desse tipo, qual é o melhor para ser enviado ao usuário em um determinado momento. O tipo do gatilho é selecionado a partir dos níveis de motivação e habilidade fornecidos

pelos seus respectivos módulos. Após a definição do tipo de gatilho inicia-se uma seleção. A seleção é feita pelo algoritmo roleta (apresentado na seção 3.1.6), o qual leva em consideração a recomendação cada gatilho. Assim, quanto maior a recomendação, maior a probabilidade de sua seleção. O uso de um método probabilístico de seleção baseado na recomendação dinâmica de gatilhos permite a adaptabilidade do sistema e fornece a todos os gatilhos uma chance de ser enviado ao usuário.

## 4.6 Camada de representação

A camada de representação detém as informações dos diferentes domínios do projeto SapiEns, ou seja, é a camada responsável por manter os dados históricos e atuais dos domínios humano, físico e virtual. Esta camada é implementada utilizando um banco de dados (BD) não relacional, também conhecido como NoSQL (Not Only SQL). Na Figura 17 pode-se notar como são persistidos no BD os esquemas dos *Smart Plugs*, *Smart Cams* e Usuários.

```
Esquema_Plugs_NoSQL = {
  idplug      : 10293846,
  codigousuario: jonas.casarin@gmail.com,
  equipamento : TV,
  comodo      : Sala,
  voltagem    : 110,
  casa        : Cassino,
  timestamp   : 1456797453653
};
Esquema_Cam_NoSQL = {
  idcam: 189089279,
  codigousuario: jonas.casarin@gmail.com,
  comodo: Sala,
  casa: Cassino,
  timestamp: 1456797453653
};
Esquema_usuario_NoSQL = {
  nome      : Jonas Casarin,
  email     : jonas.casarin@gmail.com,
  senha     : *****,
  admin     : True,
  codigousuario: jonas.casarin@gmail.com,
  Datanascimento: Number,
  genero    : Masc,
  interesses : [{tipo: Sustentabilidade, origem: Facebook, timestamp: 1456796203610}],
  fbtoken   : *****
};
```

Figura 17: Demonstração de como esquemas são criados em NoSQL

## 4.7 Camada de sensibilidade ao contexto

A camada de sensibilidade ao contexto é composta pelos seguintes módulos:

- Interpretador de Contexto: Responsável por identificar as informações e requisições do sistema. Este módulo direciona o fluxo de informação e de dados da aplicação. O controle é realizado por meio de regras que definem

Tabela 7: Rotas do sistema SapiEns

ID	Rotas	Publicadores	Ouvintes
1	sensor/smartplug/control/usercode/chipId	Smart Plugs Manager App Server(Http)	Smart Plug Smart Center App
2	sensor/smartplug/control/status	Manager	Smart Plug Smart Cam
4	smartcenter/usercode/iduser	Server(Http)	App
5	sensor/smartplug/register	Smart Plug	Register
6	sensor/smartcenter/register	Smart Center	Register
7	sensor/smartcam/register	Smart Cam	Register
8	sensor/smartcam/control/usercode/chipId	Smart Cam	Smart Center
9	sensor/smartcam/control/status	Manager	Smart Plug

qual módulo deve ser acionado e qual informação deve ser fornecida para que as requisições possam ser atendidas corretamente. Em síntese, o interpretador de contexto analisa todas as requisições do sistema e atua controlando qual módulo deve ser utilizado, baseando-se no tipo de solicitação, assim como, qual dispositivo ou módulo efetuou essa solicitação. No projeto SapiEns este módulo pode ser representado por todas as rotas possíveis dos sistema. Estas rotas pode ser representadas na Tabela 7;

Na Tabela 7 os ouvintes e publicadores são os elementos pertencentes ao sistema SapiEns. Alguns destes pertencem ao domínio físico, como o *Smart Plug*, *Smart Cam*. Os demais ouvintes e publicadores são elementos virtuais os quais possuem algumas funções específicas no sistema e pertencem aos módulos algoritmos de controle (*Manager*), agente persuasivo (*smart center*) e camada de interação humana (app).

- Controle temporal: Implementa as funcionalidades para controle do tempo ou momento em que os eventos do sistema são executados. Por exemplo, quando a aplicação efetua uma inserção no banco de dados, uma das informações utilizadas é um *TIMESTAMP*, que é uma representação de data e hora. No sistema SapiEns o módulo de controle temporal utiliza uma função chamada *getTime()*, a qual retorna um número inteiro (*TIMESTAMP*);
- Controle de Recomendação: É o módulo responsável por manter o valor de recomendação dos gatilhos atualizado. Para isso, sempre que um gatilho é enviado, a resposta (*feedback*) do usuário é avaliada, pontuando positivamente ou negativamente o valor da recomendação. Em seguida, esse valor é persistido no banco de conhecimento. Para o projeto SapiEns a recomendação é distribuída igualmente à todas os gatilhos ao iniciar o sistema;
- Algoritmos de Controle: Envolve os algoritmos que controlam o sistema, por exemplo, é responsável por interagir com os sensores, fazendo a solicitação de seu estado, assim como pela atuação nos *plugs* do sistema. Os elementos que pertencem a este módulo são: i) *manager* - responsável por “perguntar” para o *Smart Plug* e *Smart Cam* qual o estado do ambiente que eles percebem; ii) *Register* - responsável por perceber quando há um novo dispositivo no ambiente e cadastrá-lo automaticamente no sistema; iii) *Server(Http)* - responsável por receber solicitações do aplicativo e executar alguma ação no sistema.

## 4.8 Camada de interação humana

A camada de interação humana foi desenvolvida com base em um estudo realizado por um aluno de iniciação científica do projeto SapiEns. No estudo, buscou-se identificar a influência de elementos persuasivos no *design* da interação humano-computador, bem como a aplicação de práticas vigentes de desenvolvimento de interface de *software*, IHC (interface humano-computador) e conceitos relacionados a persuasão e tecnologias persuasivas [dos Santos Rios, 2015].

Os protótipos de interface foram desenvolvidos utilizando a plataforma de desenvolvimento *Ionic Framework*<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup><http://ionicframework.com/>

O *Ionic Framework* é uma tecnologia para desenvolvimento *mobile* na qual o aplicativo é portado para diversas plataformas, como o Titanium, o PhoneGap, o Xamarín, o Delphi XE7. É um *framework front-end open source* que utiliza o poder do HTML5 e do AngularJS para entregar uma experiência de usuário fluída e um rápido desenvolvimento.

Os aplicativos *Ionic* são baseados no Cordova<sup>4</sup>, logo, os utilitários do Cordova podem ser usados para *build*, *deploy* e testes dos aplicativos.

O *layout* final da interface do sistema SapiEns pode ser visto nas figuras presentes nas Tabelas 8, 9 e 10 :

---

<sup>4</sup><https://cordova.apache.org/>

Tabela 8: Interfaces desenvolvidas no projeto SapiEns - parte 1: (A) Tela de login; (B) Tela inicial; (C) Tela de dispositivos; (D) Tela de visualização de ajuda; (E) Tela de consulta de usuários; (F) Menu lateral.

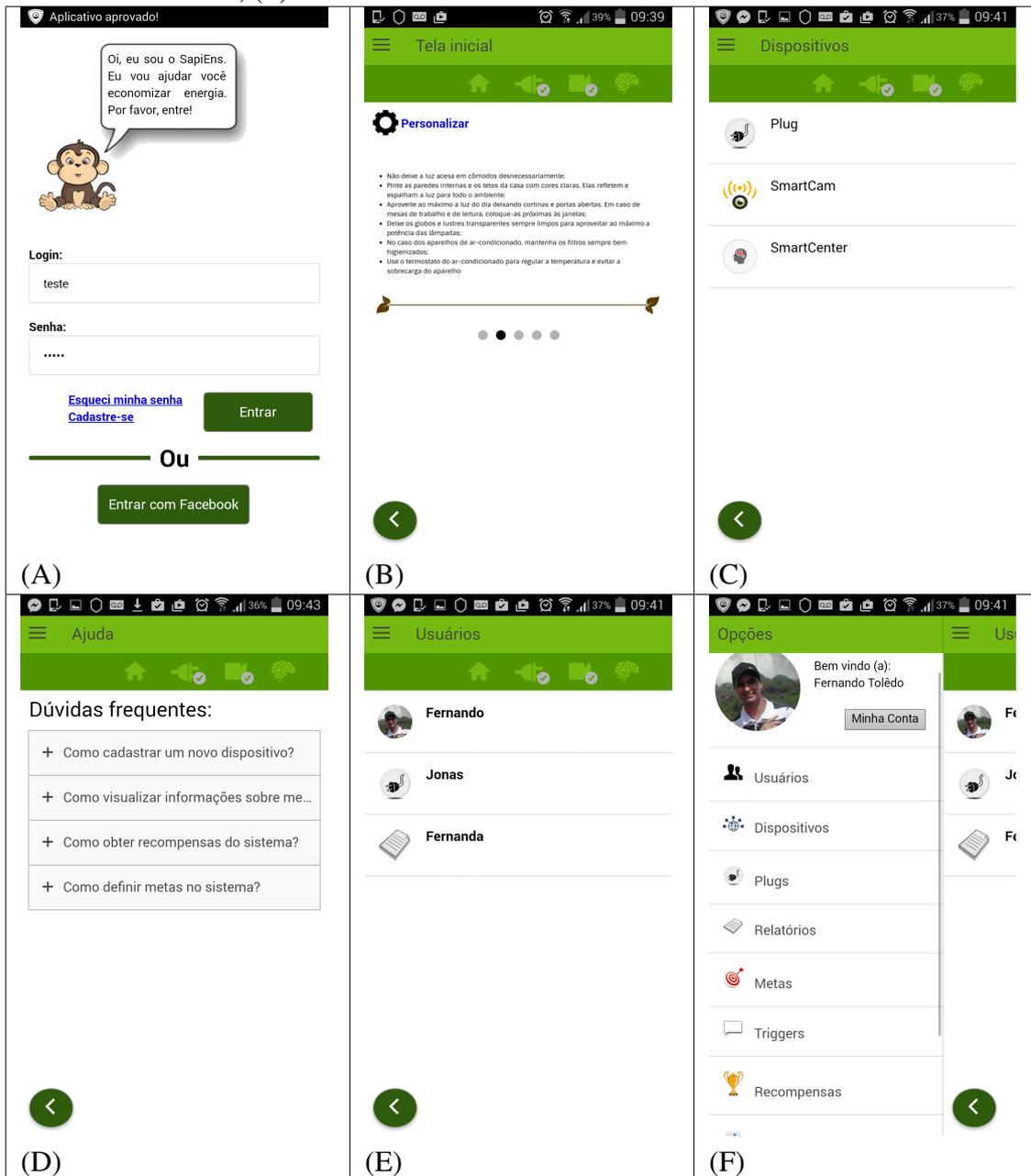


Tabela 9: Interfaces desenvolvidas no projeto SapiEns - parte 2: (A) Tela de consulta de plugs; (B) Tela de consulta de Câmeras; (C) Tela de consulta de smartcenter; (D) Tela de cadastro plug; (E) Tela de cadastro câmera; (F) Tela de cadastro smartcenter.

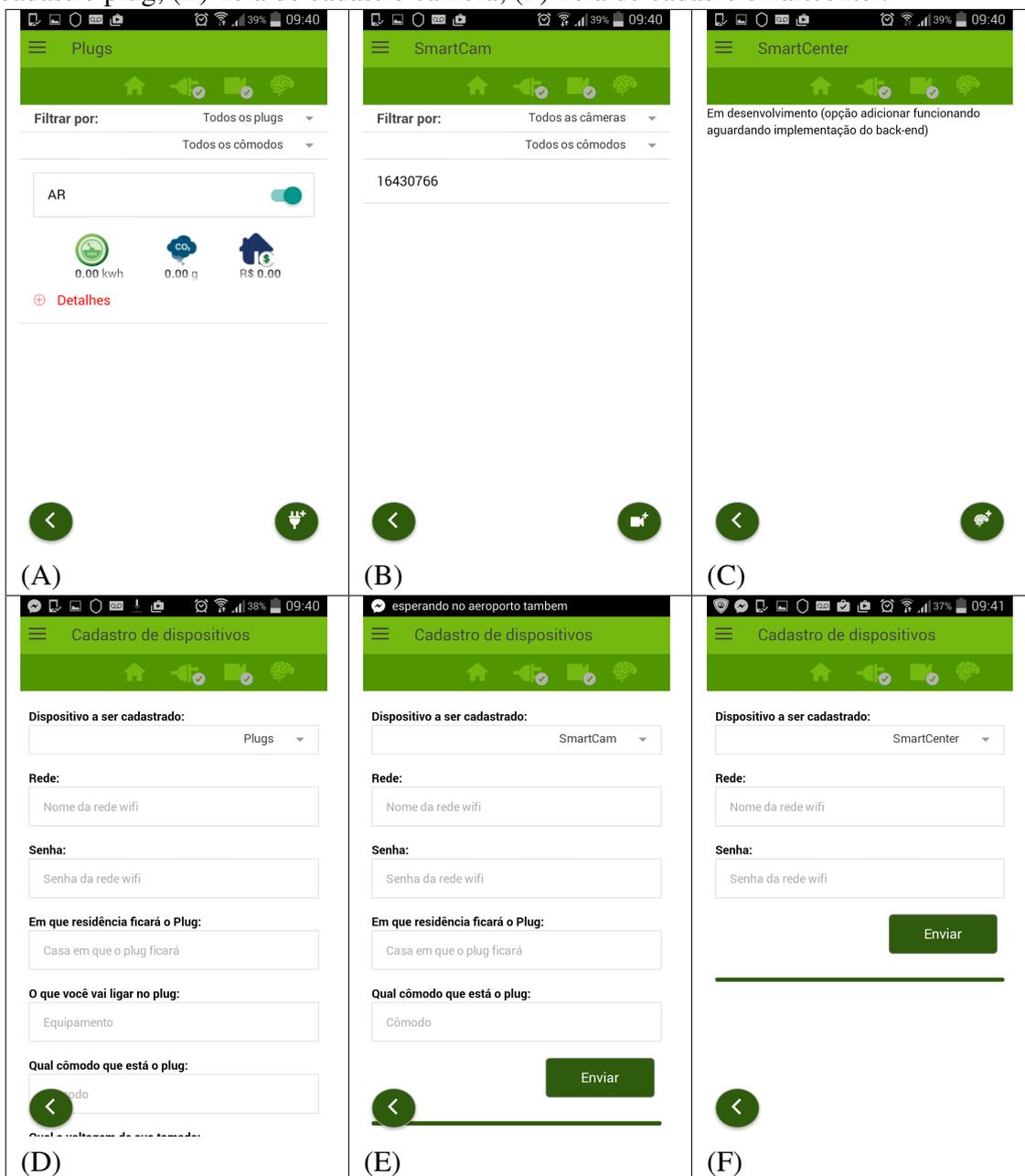
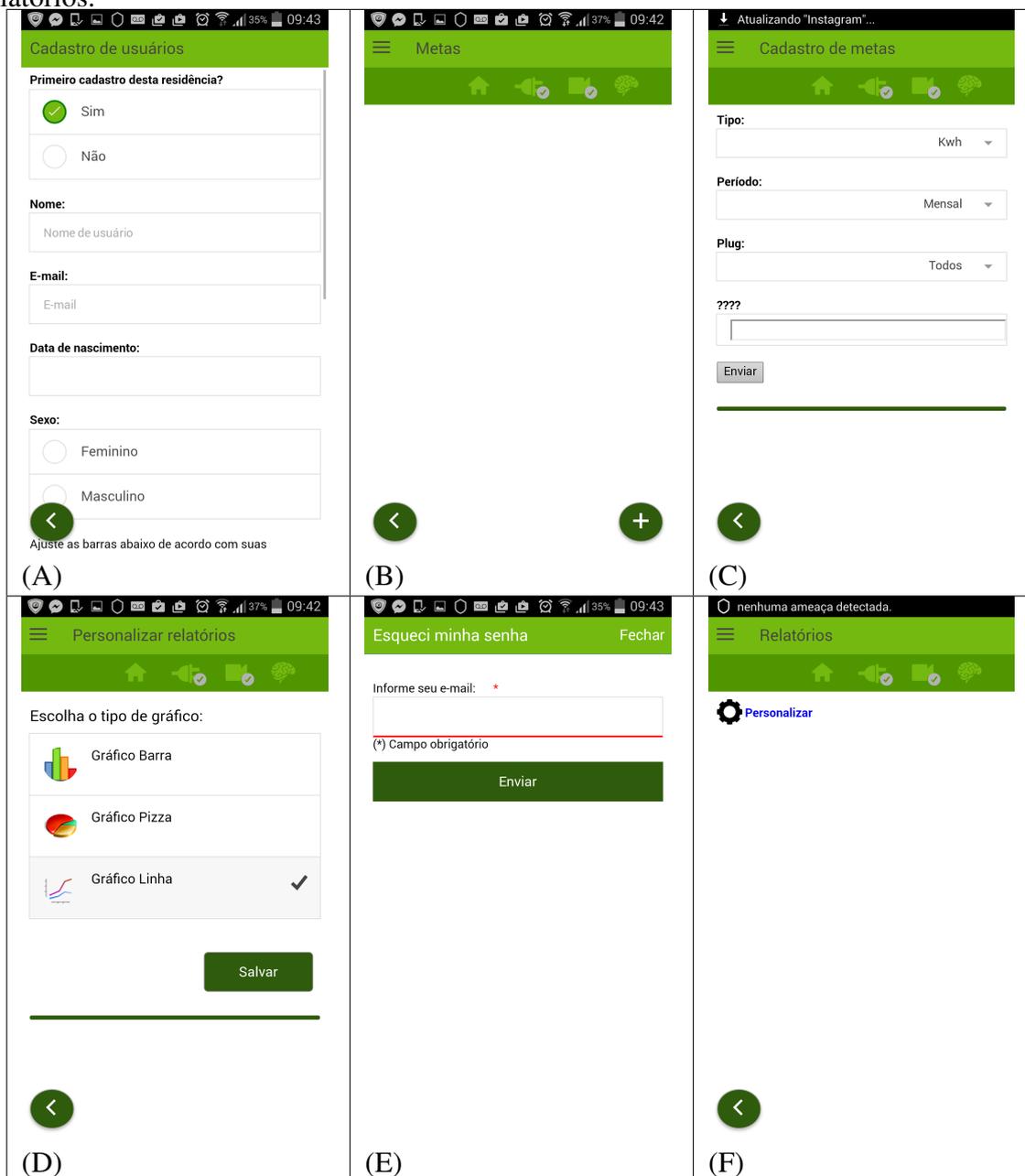


Tabela 10: Interfaces desenvolvidas no projeto SapiEns - parte 3: (A) Tela cadastro de usuários; (B) Tela de consulta de metas; (C) Tela de cadastro de metas; (D) Tela de personalização de relatórios; (E) Tela esqueci minha senha; (F) Tela de consulta de relatórios.



## 4.9 Considerações finais

Neste capítulo foi apresentada a instância da arquitetura persuasiva baseada em CPS no âmbito do projeto Sapiens.

A customização das diferentes camadas do sistema, com as tecnologias utilizadas e ferramentas/dispositivos desenvolvidos foram descritos. Também foram detalhados os

métodos de inferência de grau de habilidade e motivação do usuário, bem como evolução e seleção de gatilhos no âmbito do Kayros.

O próximo capítulo apresenta um conjunto de testes e resultados preliminares da aplicação Sapiens em um contexto residencial.

## 5 TESTES E RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO SAPIENS

Este capítulo descreve um conjunto de testes realizados com o sistema Sapiens, bem como a análise dos resultados obtidos. O sistema foi utilizado com o intuito de reduzir o consumo de energia elétrica com base na mudança de comportamento do seu usuário.

### 5.1 Instalação do protótipo

Nesta etapa foi instalado o sistema o qual foi composto por dois *smart plugs* (*Smart Plug 1 e 2*), uma *smartcam*, uma *smarcenter* (sistema embarcado em um raspberry PI 2 o qual representa o agente persuasivo) e um aplicativo para gerenciamento do sistema. O kit foi instalado na sala de estar de uma residência na cidade de Rio Grande. Nesta residência moram 5 pessoas (todos homens) com idade entre 20 e 26 anos. No *smart plug 1* foi conectado uma caixa de som (marca Wattsom, consumo médio 37 Wh (Watts/hora)). No *smart plug 2* foi conectado uma televisão (marca Sempt toshiba, consumo médio 65 Wh). Foram cadastrados dez diferentes gatilhos, onde cinco são *spark* e cinco são *facilitator* (Tabela 11). Os gatilhos do tipo *Signal* não foram cadastrados pelo fato do curto prazo de execução do experimento, ou seja, não haver tempo hábil para usuário atingir um nível de habilidade e motivação suficientes para receberem os gatilho *signal*. Portanto ao iniciar o sistema os gatilhos receberam chances iguais de serem enviadas (10% cada).

#### 5.1.1 Medição do consumo sem gatilhos

Para verificar a influência do uso do SapiEns, foi realizada uma etapa de medição do consumo dos aparelhos residenciais conectados aos *smart plugs* por um período de uma semana. Neste período o sistema de gatilhos estava desabilitado, ou seja, o kit estava realizando o levantamento de consumo médio da residência sem intervenção do sistema persuasivo. Na tabela 12 é possível visualizar o consumo médio do *smart plug 1*, bem como os dados de sensoriamento de presença.

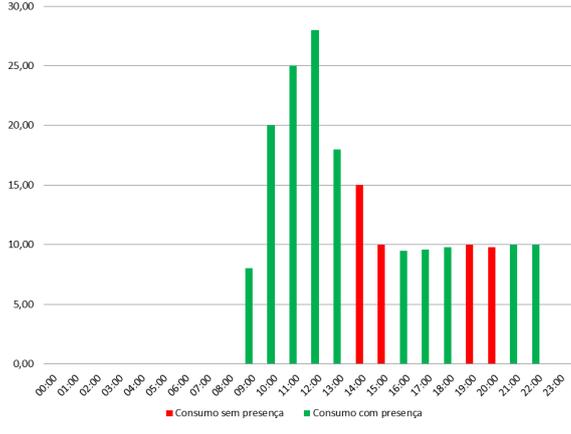
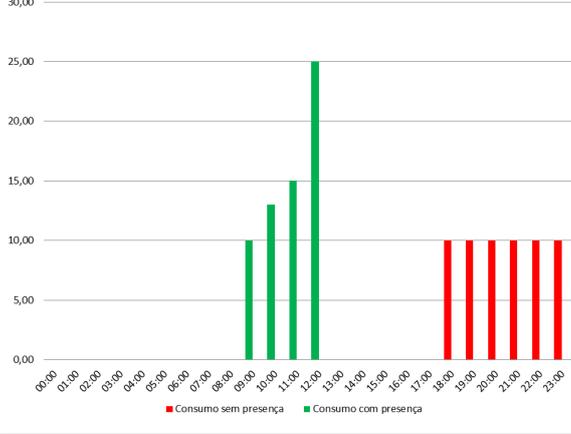
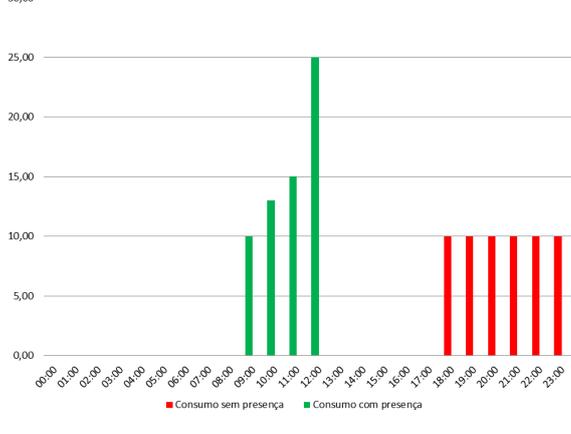
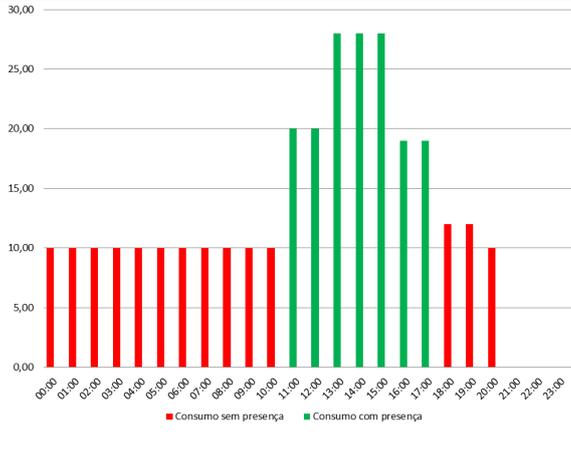
Tabela 11: Gatilhos cadastrados no sistema

ID gatilho	Conteúdo	Tipo
1	Olá <U>, você esqueceu a(o), <E>ligada(o). Não desperdice energia. Participe da campanha #DesperdicioZero clicando em desligar.	Spark
2	Olá <U>, você esqueceu a(o) <E>ligada(o)! Se você desligá-la(o) agora poderá deixar de emitir <CO2>no nosso planeta.	Spark
5	Olá <U>, vamos evitar que sua que sua conta de luz venha muito alta este mês? Você esqueceu a(o) <E>ligado(a). Quer que a(o) desligue?	Spark
7	Olá <U>, você esqueceu a(o) <E>ligada(o). você pode deixar de derrubar <A>com um único click. Faça a sua parte.	Spark
6	Olá <U>, você esqueceu a(o) <E>ligada(o). Você pode deixar de gastar <\$>em um click.	Spark

ID gatilho	Conteúdo	Tipo
3	Olá <U>, não quero tomar o seu tempo. Só vim avisar que você esqueceu a(o) <E>ligada(o). Quer que eu a(o) desligue?	Facilitador
4	Olá <U>, você esqueceu a(o) <E>ligada. Mas não se preocupe, não precisa retornar a sua casa para desligá-la. Basta clicar em desligar.	Facilitador
8	Olá <U>, você esqueceu a(o) <E>ligada. Não perca tempo! Desligue com um único click.	Facilitador
9	Olá <U>, você esqueceu a(o) <E>ligada. Pode sobrar mais dinheiro no final do mês se deligá-lo(a) agora.	Facilitador
10	<E>ligado(a)!! Não deixe o desperdício virar um habito. Desligue agora.	Facilitador

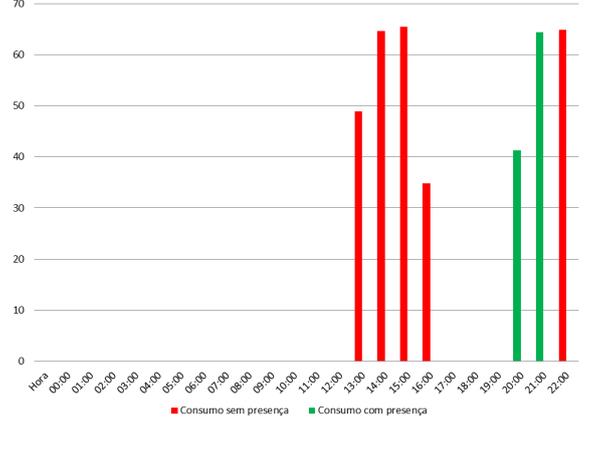
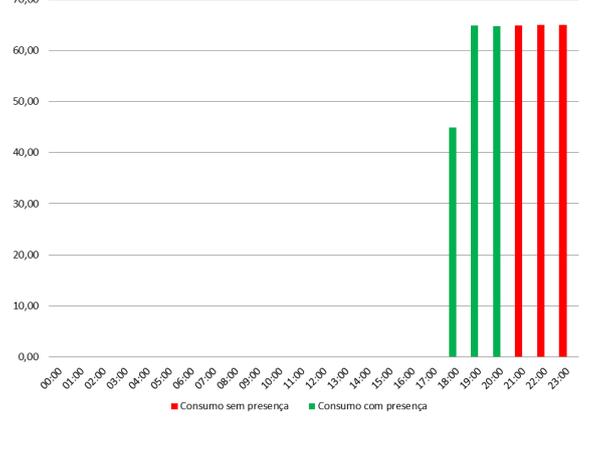
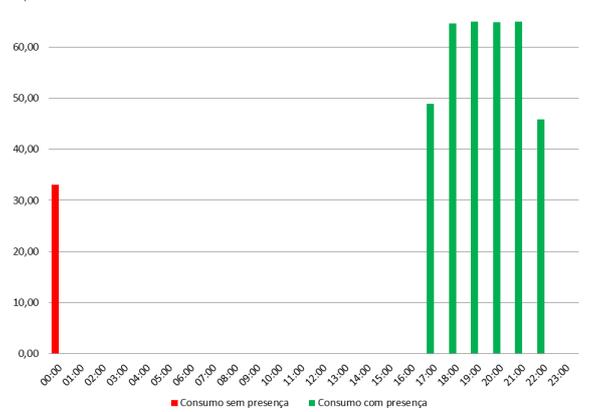
Tabela 12: Resultados da primeira semana referentes ao *Smart Plug 1* (caixa de som) com os gatilhos do sistema inativos

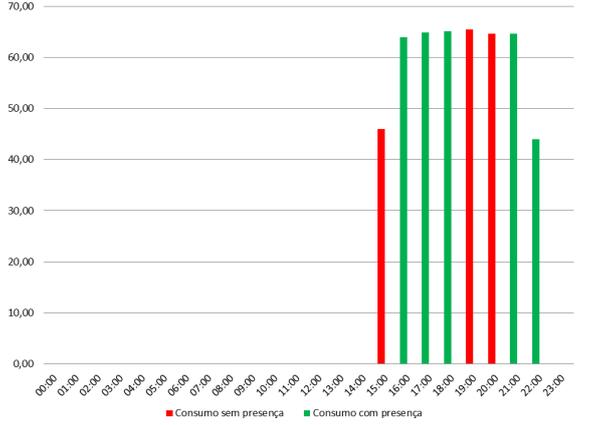
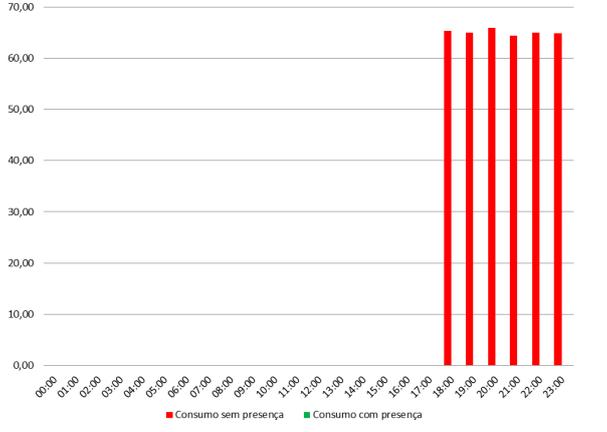
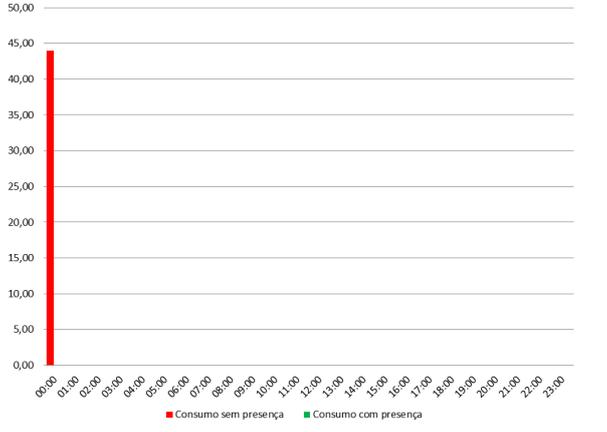
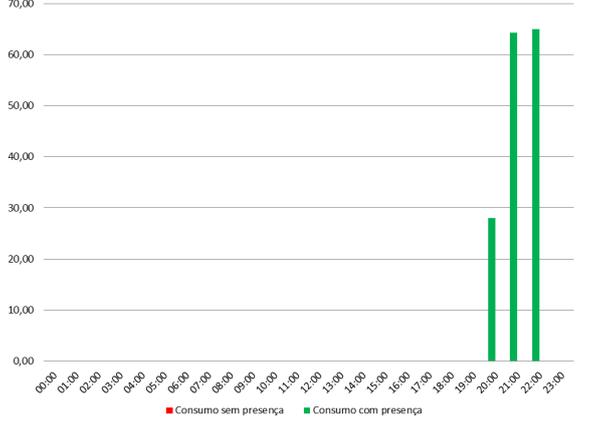
Dia	Gráfico de consumo (Média em Watts/hora)	Desperdício
Segunda	<p>Consumo sem presença    Consumo com presença</p>	175,32 Watts
Terça	<p>Consumo sem presença    Consumo com presença</p>	164,63 Watts
Quarta	<p>Consumo sem presença    Consumo com presença</p>	0 Watts

Dia	Gráfico de consumo (Média em Watts/hora)	Desperdício
Quinta	 <p>Consumo sem presença    Consumo com presença</p>	44,79 Watts
Sexta	 <p>Consumo sem presença    Consumo com presença</p>	60 Watts
Sábado	 <p>Consumo sem presença    Consumo com presença</p>	280,00 Watts
Domingo	 <p>Consumo sem presença    Consumo com presença</p>	144,00 Watts

Na tabela 13 é possível visualizar o consumo médio (diário) do *smart plug 2*, bem como os dados de sensoriamento de presença.

Tabela 13: Resultados da primeira semana referentes ao *Smart Plug 2* (TV) com os gatilhos do sistema inativos

Dia	Gráfico de consumo (Média em Watts/hora)	Desperdício
Segunda	 <p>Consumo sem presença    Consumo com presença</p>	278,63 Watts
Terça	 <p>Consumo sem presença    Consumo com presença</p>	194,88 Watts
Quarta	 <p>Consumo sem presença    Consumo com presença</p>	33,00 Watts

Dia	Gráfico de consumo (Média em Watts/hora)	Desperdício
Quinta	 <p>Consumo sem presença    Consumo com presença</p>	175,97 Watts
Sexta	 <p>Consumo sem presença    Consumo com presença</p>	390,42 Watts
Sábado	 <p>Consumo sem presença    Consumo com presença</p>	44,00 Watts
Domingo	 <p>Consumo sem presença    Consumo com presença</p>	0 Watts

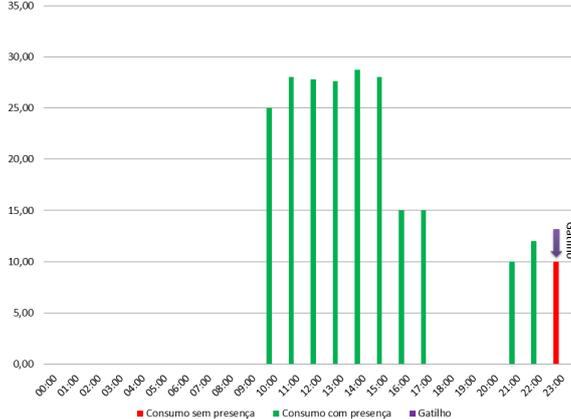
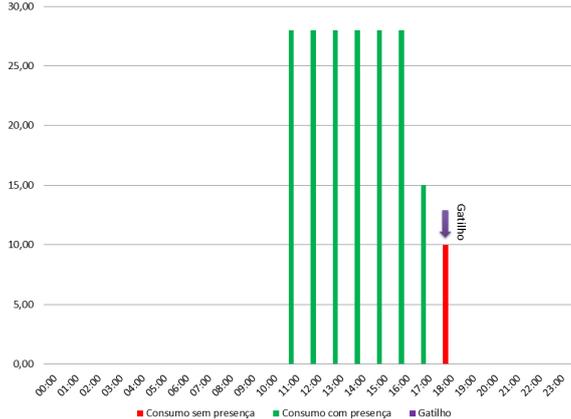
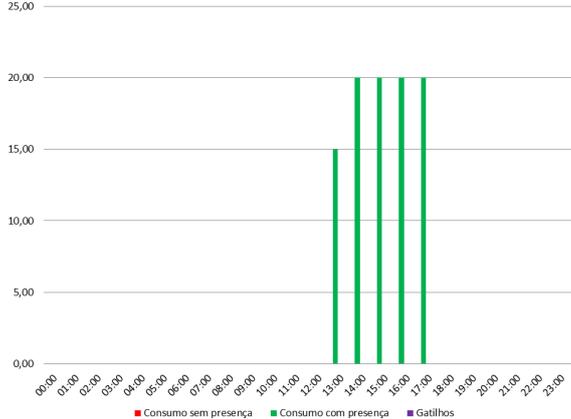
Os gráficos representados na segunda coluna das tabelas 12,13 representam o consumo dos *smart plugs* com e sem presença no ambiente. Estabelece-se como desperdício de energia o consumo medido na ausência do usuário do cômodo, ou seja, quando há consumo no ambiente a não há presença. Esta informação está representada na terceira coluna destas tabelas. Conclui-se então que o desperdício total referente ao *smart plug* 1 na primeira semana foi de 868,74 Watts e que desperdício total referente ao *smart plug* 2 na primeira semana foi de 2275,68 Watts.

### **5.1.2 Medição do consumo com gatilhos**

Nesta etapa foi realizada a ativação do módulo de envio de gatilhos. Durante esta etapa foi realizada a medição do consumo dos aparelhos conectados aos *smart plugs* por um período de mais uma semana. É importante citar que durante este período houve a intervenção do sistema nos momentos em que não havia presença no ambiente e havia consumo na tentativa de persuadir o usuário a reduzir o desperdício de energia. Na tabela 14 é possível visualizar o consumo médio do *smart plug* 1, bem como os dados de sensoriamento de presença e os momentos de envio dos gatilhos.

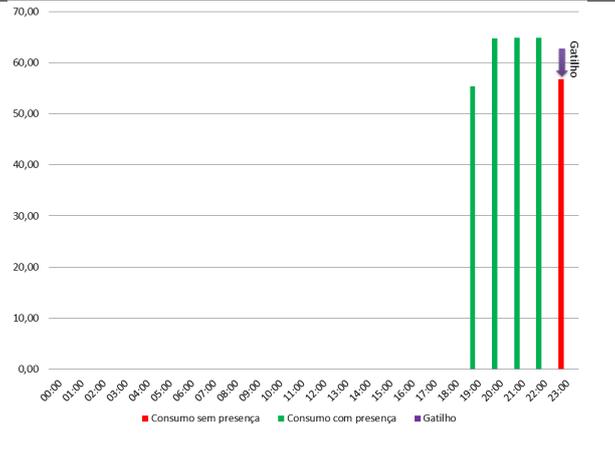
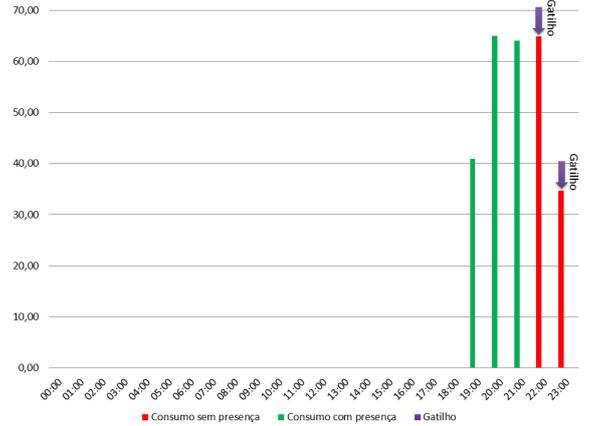
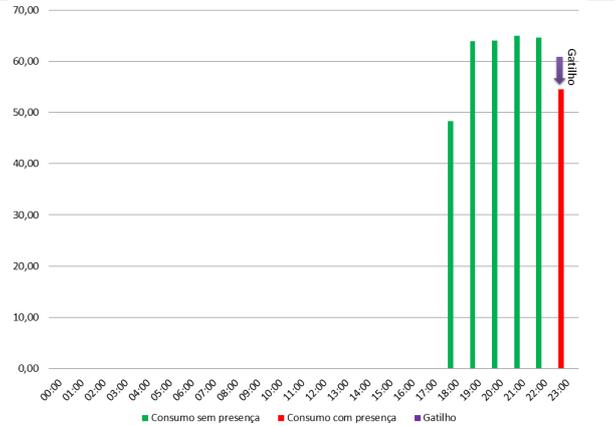
Tabela 14: Resultados da segunda semana referentes ao *Smart Plug 1* (caixa de som) com os gatilhos do sistema ativos

Dia	Gráfico de consumo (Média em Watts/hora)	Desperdício
Segunda		10 Watts
Terça		10 Watts
Quarta		35 Watts

Dia	Gráfico de consumo (Média em Watts/hora)	Desperdício
Quinta	 <p>Consumo sem presença    Consumo com presença    Gatilho</p>	10 Watts
Sexta	 <p>Consumo sem presença    Consumo com presença    Gatilho</p>	10 Watts
Sábado	 <p>Consumo sem presença    Consumo com presença    Gatilhos</p>	0 Watts

Na tabela 15 é possível visualizar o consumo médio do *smart plug 2*, bem como os dados de sensoriamento de presença e os momentos de envio dos gatilhos.

Tabela 15: Resultados da segunda semana referentes ao *Smart Plug 2* (TV) com os gatilhos do sistema ativos

Dia	Gráfico de consumo (Média em Watts/hora)	Desperdício
Segunda	 <p>Gráfico de consumo (Média em Watts/hora) para Segunda-feira. O eixo Y representa o consumo em Watts/hora (0,00 a 70,00). O eixo X representa o tempo em horas (00:00 a 23:00). O consumo com presença (verde) ocorre entre 19:00 e 22:00, com picos de aproximadamente 65 Watts/hora. O consumo sem presença (vermelho) é zero. Um gatilho (roxo) é indicado às 23:00.</p>	56,77 Watts
Terça	 <p>Gráfico de consumo (Média em Watts/hora) para Terça-feira. O eixo Y representa o consumo em Watts/hora (0,00 a 70,00). O eixo X representa o tempo em horas (00:00 a 23:00). O consumo com presença (verde) ocorre entre 19:00 e 21:00, com picos de aproximadamente 65 Watts/hora. O consumo sem presença (vermelho) é zero. Dois gatilhos (roxo) são indicados às 22:00 e 23:00.</p>	99,52 Watts
Quarta	 <p>Gráfico de consumo (Média em Watts/hora) para Quarta-feira. O eixo Y representa o consumo em Watts/hora (0,00 a 70,00). O eixo X representa o tempo em horas (00:00 a 23:00). O consumo com presença (verde) ocorre entre 19:00 e 22:00, com picos de aproximadamente 65 Watts/hora. O consumo sem presença (vermelho) é zero. Um gatilho (roxo) é indicado às 23:00.</p>	54,55 Watts

Dia	Gráfico de consumo (Média em Watts/hora)	Desperdício																								
<p>Quinta</p>	<p>Gráfico de consumo (Média em Watts/hora) para Quinta. O eixo Y representa o consumo em Watts/hora, variando de 0,00 a 70,00. O eixo X representa o tempo em horas, variando de 00:00 a 23:00. O consumo com presença (verde) ocorre entre 17:00 e 23:00. O consumo sem presença (vermelho) ocorre entre 19:00 e 20:00. Um gatilho (seta roxa) ocorre às 20:00.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tempo</th> <th>Consumo sem presença (Watts/hora)</th> <th>Consumo com presença (Watts/hora)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>17:00</td><td>0,00</td><td>58,00</td></tr> <tr><td>18:00</td><td>0,00</td><td>64,00</td></tr> <tr><td>19:00</td><td>64,88</td><td>65,00</td></tr> <tr><td>20:00</td><td>64,88</td><td>64,00</td></tr> <tr><td>21:00</td><td>0,00</td><td>64,00</td></tr> <tr><td>22:00</td><td>0,00</td><td>40,00</td></tr> <tr><td>23:00</td><td>0,00</td><td>0,00</td></tr> </tbody> </table>	Tempo	Consumo sem presença (Watts/hora)	Consumo com presença (Watts/hora)	17:00	0,00	58,00	18:00	0,00	64,00	19:00	64,88	65,00	20:00	64,88	64,00	21:00	0,00	64,00	22:00	0,00	40,00	23:00	0,00	0,00	<p>64,88 Watts</p>
Tempo	Consumo sem presença (Watts/hora)	Consumo com presença (Watts/hora)																								
17:00	0,00	58,00																								
18:00	0,00	64,00																								
19:00	64,88	65,00																								
20:00	64,88	64,00																								
21:00	0,00	64,00																								
22:00	0,00	40,00																								
23:00	0,00	0,00																								
<p>Sexta</p>	<p>Gráfico de consumo (Média em Watts/hora) para Sexta. O eixo Y representa o consumo em Watts/hora, variando de 0,00 a 70,00. O eixo X representa o tempo em horas, variando de 00:00 a 23:00. O consumo com presença (verde) ocorre entre 18:00 e 23:00.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tempo</th> <th>Consumo com presença (Watts/hora)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>18:00</td><td>50,00</td></tr> <tr><td>19:00</td><td>64,00</td></tr> <tr><td>20:00</td><td>65,00</td></tr> <tr><td>21:00</td><td>64,00</td></tr> <tr><td>22:00</td><td>55,00</td></tr> <tr><td>23:00</td><td>0,00</td></tr> </tbody> </table>	Tempo	Consumo com presença (Watts/hora)	18:00	50,00	19:00	64,00	20:00	65,00	21:00	64,00	22:00	55,00	23:00	0,00	<p>0 Watts</p>										
Tempo	Consumo com presença (Watts/hora)																									
18:00	50,00																									
19:00	64,00																									
20:00	65,00																									
21:00	64,00																									
22:00	55,00																									
23:00	0,00																									
<p>Sábado</p>	<p>Gráfico de consumo (Média em Watts/hora) para Sábado. O eixo Y representa o consumo em Watts/hora, variando de 0,00 a 70,00. O eixo X representa o tempo em horas, variando de 00:00 a 23:00. O consumo com presença (verde) ocorre entre 13:00 e 17:00.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tempo</th> <th>Consumo com presença (Watts/hora)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>13:00</td><td>55,00</td></tr> <tr><td>14:00</td><td>65,00</td></tr> <tr><td>15:00</td><td>64,00</td></tr> <tr><td>16:00</td><td>64,00</td></tr> <tr><td>17:00</td><td>58,00</td></tr> <tr><td>18:00</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>19:00</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>20:00</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>21:00</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>22:00</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>23:00</td><td>0,00</td></tr> </tbody> </table>	Tempo	Consumo com presença (Watts/hora)	13:00	55,00	14:00	65,00	15:00	64,00	16:00	64,00	17:00	58,00	18:00	0,00	19:00	0,00	20:00	0,00	21:00	0,00	22:00	0,00	23:00	0,00	<p>0 Watts</p>
Tempo	Consumo com presença (Watts/hora)																									
13:00	55,00																									
14:00	65,00																									
15:00	64,00																									
16:00	64,00																									
17:00	58,00																									
18:00	0,00																									
19:00	0,00																									
20:00	0,00																									
21:00	0,00																									
22:00	0,00																									
23:00	0,00																									

Os gráficos representados na segunda coluna das tabelas 14 e 15 representam o desperdício diário de cada *smart plug*. Portanto o desperdício total referente ao *smart plug 1* na primeira semana foi de 75,00 Watts e que desperdício total referente ao *smart plug 2* na primeira semana foi de 275,72 Watts.

Nesta etapa também foi realizado o levantamento dos gatilhos enviados aos usuários, bem como das medições de habilidade e motivação realizadas. A tabela 16 apresenta todos os tipos de gatilhos enviados ao usuário. A tabela 17 mostra os níveis de habilidade e motivação em cada momento do disparo dos gatilhos.

Tabela 16: Gatilhos enviados ao app SapiEns: (A) Gatilho tipo *spark* grupo aceitação/rejeição social; (B) Gatilho tipo *spark* grupo esperança/medo; (C) Gatilho tipo *facilitador* grupo tempo; (D) Gatilho tipo *spark* grupo esperança/medo; (E) Gatilho tipo *facilitador* grupo esforço físico; (F) Gatilho tipo *spark* grupo Esperança/Medo social;

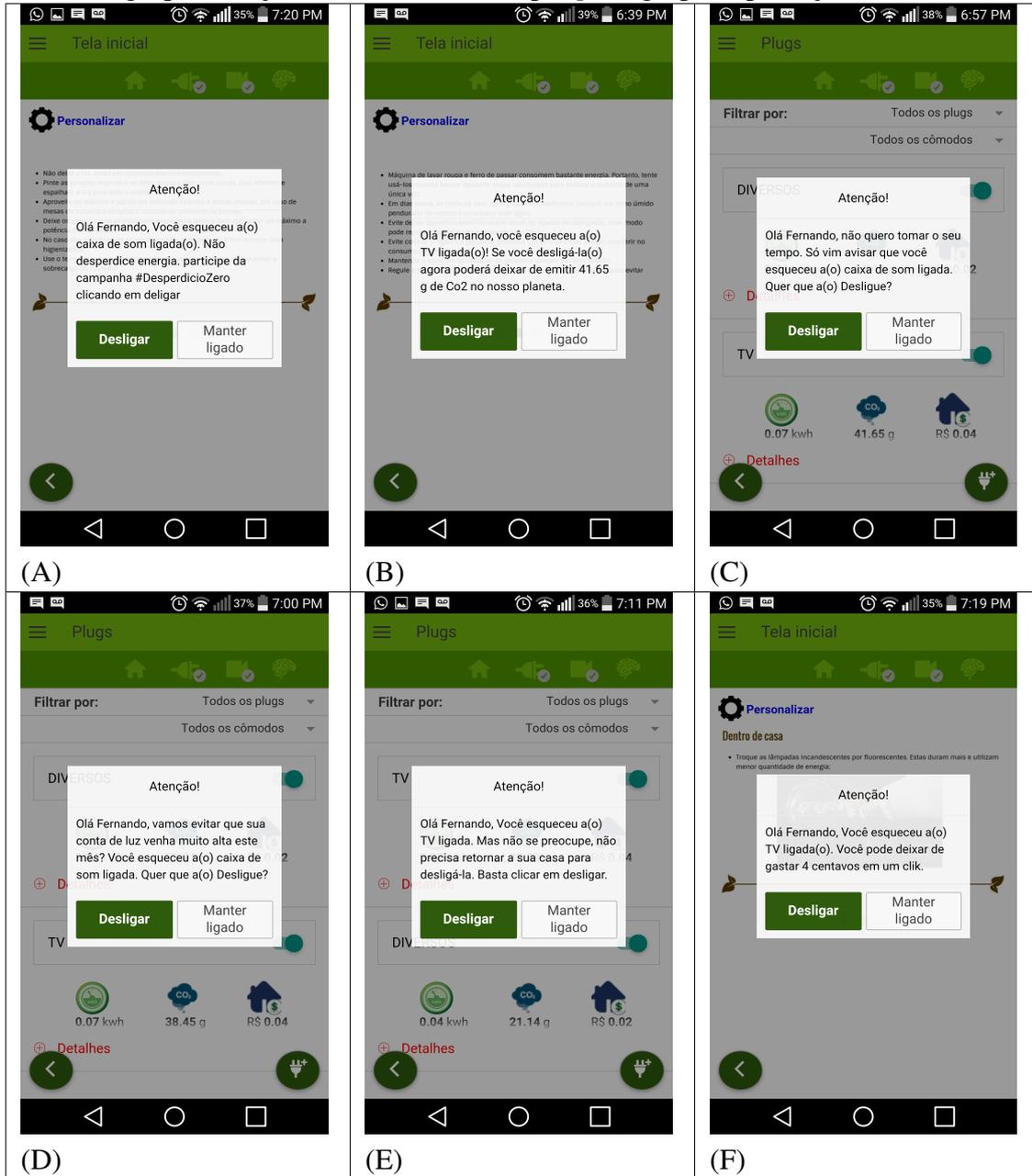


Tabela 17: Gatilhos enviados ao usuário do sistema SapiEns com os respectivos níveis de motivação e habilidade

Informações gatilho	Rcomendação	Motivação	Habilidade
Gatilho (id 1) do tipo <i>spark</i> enviado às 23:15 da segunda-feira com resposta positiva (referente ao <i>smart plug 1</i> ).	10%	0.4	0.5
Gatilho (id 2) do tipo <i>spark</i> enviado às 23:15 da segunda-feira com resposta positiva (referente <i>smart plug 2</i> ).	10%	0.5	0.5
Gatilho (id 3) do tipo <i>facilitator</i> enviado às 22:22 da terça-feira com resposta positiva (referente ao <i>smart plug 1</i> ).	10%	0.6	0.5
Gatilho (id 4) do tipo <i>facilitator</i> enviado às 22:00 da terça-feira com resposta negativa (referente ao <i>smart plug 2</i> ).	10%	0.6	0.6
Gatilho (id 2) do tipo <i>spark</i> enviado às 23:04 da terça-feira com resposta positiva (referente ao <i>smart plug 2</i> ).	11%	0.5	0.6
Gatilho (id 3) do tipo <i>facilitator</i> enviado às 15:06 da quarta-feira com resposta negativa (referente ao <i>smart plug 1</i> ).	11%	0.6	0.6

Informações gatilho	Recomendação	Motivação	Habilidade
Gatilho (id 5) do tipo <i>spark</i> enviado às 23:23 da quarta-feira com resposta positiva (referente ao <i>smart plug 2</i> ).	10%	0.5	0.6
Gatilho (id 6) do tipo <i>spark</i> enviado às 23:23 da quarta-feira com resposta positiva (referente ao <i>smart plug 1</i> ).	10%	0.6	0.6
Gatilho (id 3) do tipo <i>facilitator</i> enviado às 20:34 da quinta-feira com resposta negativa (referente ao <i>smart plug 2</i> ).	10%	0.7	0.6
Gatilho (id 5) do tipo <i>spark</i> enviado às 23:32 da quinta-feira com resposta positiva (referente ao <i>smart plug 1</i> ).	11%	0.6	0.6
Gatilho (id 3) do tipo <i>facilitator</i> enviado às 18:00 da sexta-feira com resposta positiva (referente ao <i>smart plug 1</i> ).	9%	0.7	0.6

Pode-se concluir que durante o experimento foram disparados onze gatilhos para o usuário (sete *spark* e quatro *facilitator*). Sendo que destes onze gatilhos oito foram respondidos positivamente. A variação da recomendação dos gatilhos pode ser percebida na segunda coluna da Tabela 17, bem como, na Figura 18. Assim é possível perceber que os gatilhos enviados ao usuário que receberam uma resposta positiva (desligaram o *smart plug*) tem maior chance de serem escolhidos pelo algoritmo, ao contrario do gatilho que recebeu uma resposta negativa.

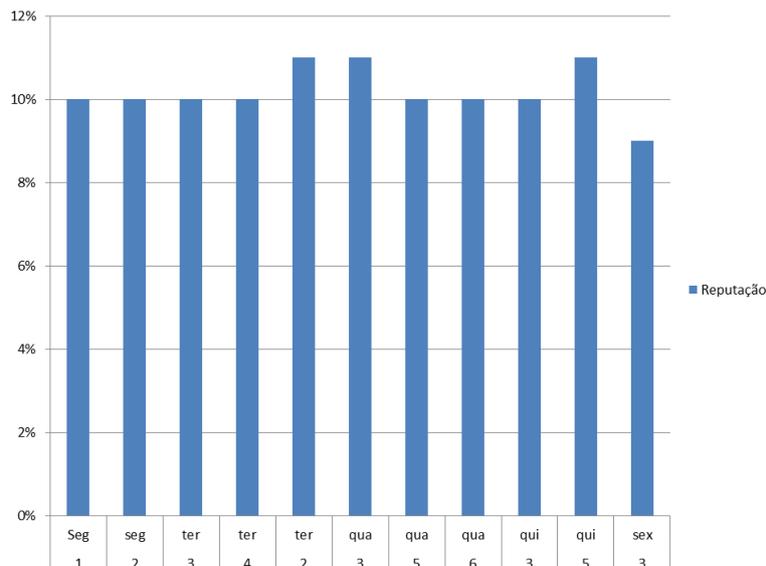


Figura 18: Variação da recomendação dos gatilhos durante a segunda semana

### 5.1.3 Análise e discussão dos resultados

Durante a primeira semana do experimento percebe-se algumas características relacionadas ao desperdício de energia diário na residência do usuário. É importante citar que durante a sexta-feira houve uma queda de energia de aproximadamente 5 horas, o que prejudicou o levantamento de dados de consumo deste dia. Conclui-se que o total de desperdício na primeira semana foi de 3144,42 Watts.

Durante a segunda semana do experimento foi habilitado o envio de gatilhos ao usuário e o início das métricas de habilidade e motivação do mesmo. Além disto a avaliação das características relacionadas ao desperdício de energia diário na residência foram mantidas. Durante o sábado pode-se notar uma queda de energia que se prolongou até o fim de domingo, isto porque as condições climáticas locais danificaram vários pontos de distribuição de energia da cidade de Rio Grande. Assim os dados coletados até as 17h de sábado foram considerados onde percebeu-se que não houve desperdício. Conclui-se que o total de desperdício na segunda semana foi de 350,72 Watts.

É possível perceber também a variação nos níveis de habilidade (Figura 19) e motivação (20) do usuário. Isto acontece devido as respostas das interações dos gatilhos com o usuário (respostas positivas ou negativas dos gatilhos), bem como o fato do usuário variar seu comportamento na rede social do Facebook (redução ou aumento de likes e posts relacionados aos objetivos do sistema). Estes fatores fazem com que o agente persuasivo recalcule a motivação e habilidade a cada momento que houver interação com o usuário, ou seja, a cada envio de gatilho.

Por fim, foi possível comparar os resultados da primeira e da segunda semana de experimento onde percebe-se uma redução de 88,84% de desperdício de energia. Isto



Figura 19: Variação da habilidade do usuário durante a segunda semana

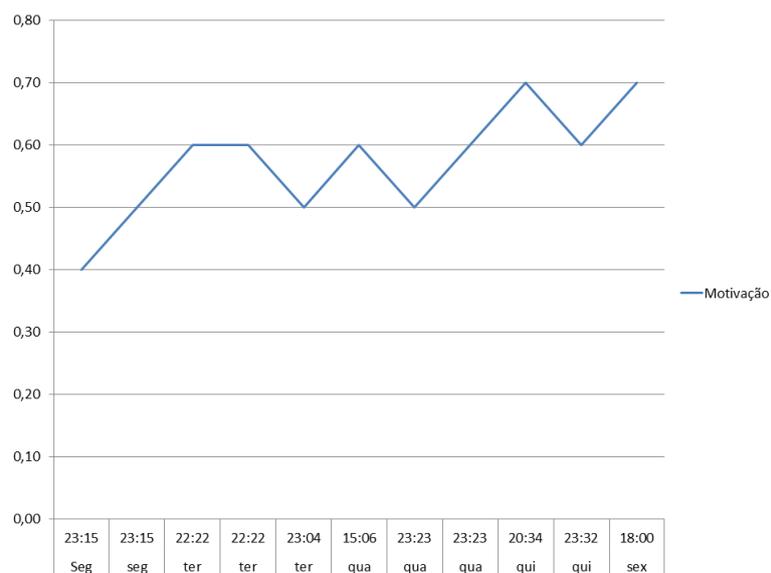


Figura 20: Variação da motivação do usuário durante segunda semana

representa uma economia anual de R\$ 67,03<sup>1</sup> e uma redução na emissão de CO<sub>2</sub> de 87,91 Kg. Foi possível notar que a partir da intervenção do sistema (ativação dos gatilhos) pode-se persuadir o usuário a economizar energia.

Com o experimento realizado foi possível a aplicação do protótipo na persuasão domiciliar para a redução do consumo. Foi possível verificar o funcionamento dos seguintes elementos: i) *Smartplug* e *smartcam* para percepção e atuação no ambiente; ii) Abordagens de inferência dos graus de motivação e habilidade; iii) Sistema de recomendação e seleção de gatilhos; iv) Interface de operação do sistema.

Resalta-se que a aplicação do protótipo em um experimento real, requereu a realização de ajustes e finalização de uma grande quantidade de questões relacionadas aos dispositivos, ferramentas e algoritmos desenvolvidos.

Por se tratar do primeiro experimento real e completo do projeto SapiEns os dados coletados são resultados dos ajustes realizados no tempo disponível. Conforme os ajustes foram executados variações de dados foram notadas. Com a realização de um número maior de experimentos, melhores ajustes e conclusões poderão ser obtidos.

---

<sup>1</sup>valores retirados de: <http://www.cee.com.br/pportal/cee/Component/Controller.aspx?CC=1248>

## 6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este estudo apresentou como objetivo o desenvolvimento de uma arquitetura persuasiva baseada em CPS. Para tal, apoiou-se em um conjunto de conceitos que contemplam os elementos da motivação utilizados no campo da psicologia, mais precisamente no estudo da persuasão, bem como de tecnologias persuasivas a fim de influenciar a mudança do comportamento humano. Além disto, a utilização dos conceitos e arquiteturas CPS's serviram como base para a proposta deste trabalho.

Realizou-se em um primeiro momento uma revisão da literatura referente aos aspectos relacionados a persuasão. Aspectos estes que demonstraram as principais estratégias que levam o indivíduo a mudar seu comportamento. Verificou-se também a relação entre persuasão e tecnologia, a qual pode ser denominada captologia ou tecnologias persuasivas. Além disto, foi apresentado em detalhes o modelo conceitual utilizado para auxiliar a mudança de comportamento (FBM), bem como algumas aplicações relacionadas ao FBM.

A partir de então verificou-se conceitos e arquiteturas relacionadas ao CPS. O CPS viabiliza a interação entre o mundo real e o virtual permitindo a atuação e a troca de informações entre elementos reais e virtuais. A partir da revisão da literatura pode-se notar a ausência de persuasão em CPS's, ou seja, ainda não foi explorado explicitamente na literatura que tenham como foco principal a persuasão do indivíduo frente a mudança de comportamento e atitudes. Mesmo que alguns trabalhos apresentem CPS's inteligentes com alto grau de tomada de decisão, ainda pouco foi explorado a possibilidade do desenvolvimento de CPS's que incorporem explicitamente conceitos de persuasão em sua inteligência para deliberação e execução.

Assim, diante das vantagens, desafios de CPS e das possíveis oportunidades originais do seu uso para persuasão este trabalho apresentou uma arquitetura persuasiva baseada em CPS, composta por seis camadas e formada por módulos bem definidos. Com base na teoria da motivação o principal objetivo da arquitetura é mensurar a motivação e habilidade do usuário que interage com a mesma a fim verificar qual a melhor gatilho e em qual momento esta deve ser disparada. Os módulos desta arquitetura são baseados em diferentes estudos, entre eles: estratégias de persuasão, *frameworks* para o desenvolvimento de tecnologias persuasivas e CPS's. Estes estudos estão descritos de forma resumida no

referencial teórico deste trabalho e são fundamentais para a compreensão da arquitetura.

É válido ressaltar neste estudo, que apesar do modelo FBM poder ser aplicado em diversos contextos e ser muito flexível, ele é originalmente um modelo abstrato, ou seja, para que seus componentes (motivação, habilidade, gatilhos) sejam aplicados devem ser mapeados para elementos tecnológicos passíveis de serem implementados. Uma das principais contribuições deste trabalho é a proposta e implementação de tecnologias e abordagens concretas e detalhadamente descritas para a medição da motivação e habilidade de usuários no contexto da utilização de sistemas persuasivos.

A arquitetura foi aplicada no estudo de caso referente a economia de energia elétrica, no âmbito do projeto. O sistema completo SapiEns foi implementado abrangendo dispositivos de monitoramento e atuação e sua integração em um agente persuasivo.

O sistema persuasivo está em fase de teste, ou seja, a implantação do sistema está sendo executada em uma residência na cidade de Rio Grande/RS. Portanto, os resultados apresentados neste trabalho são relacionados a implementação do sistema e os dados gerados se referem aos testes realizados nesta residência até o momento.

Os resultados gerados são preliminares entretanto apontam para o sucesso do sistema persuasivo na efficientização energética. Até o momento pode-se perceber uma redução do consumo de energia elétrica na casa onde o sistema foi implantado de aproximadamente 88,84%.

Nota-se que com a utilização desta arquitetura pode-se compreender, desenvolver e medir sistemas persuasivos. É importante enfatizar que a aplicação desta arquitetura pode ir além do desenvolvimento de sistemas persuasivos para otimização de energia elétrica (SapiEns), possibilitando também a sua aplicação em outras áreas, tais como: saúde, educação, economia de água, marketing, etc.

Este trabalho além de contribuir com o estudo da tecnologia persuasiva apresentando uma arquitetura, resultou também em um produto que será utilizado como ferramenta de auxílio no consumo sustentável de energia elétrica.

A arquitetura está sendo aplicada no projeto SapiEns (protótipo SapiEns), o qual está sendo executado e testado. O sistema tem demonstrado estabilidade em sua utilização e ficará em fase de teste até o final do mês de abril de 2016. A partir de então deverá ser escalado e implantado nas demais residências previstas pelo projeto SapiEns.

Como trabalhos futuros propõe-se: a validação do sistema por meio da implantação em um maior número de residências e posterior mineração de dados, a fim de verificar a eficácia e nível de persuasão obtidos; aplicação da arquitetura em outros projetos como saúde, educação e sustentabilidade; melhoria da proposta no que tange as métricas de habilidade e motivação propostas, bem como a inserção de inteligência responsável pela identificação de perfis de usuários e a definição do tempo *kayros* para diferentes tipos de usuários; e a melhoria do protótipo no que tange características técnicas de software e hardware referentes aos sensores e atuadores, bem como a utilização de um maior número

de parâmetros para avaliação da habilidade e motivação do usuário.

## REFERÊNCIAS

ABESCO. Relatório associação brasileira das empresas de serviços de conservação de energia, 2015. URL <http://www.abesco.com.br/pt/novidade/desperdicio-de-energia-gera-perdas-de-r-126-bilhoes/>. [Online; acessado 11-fev-2016].

Hossein Ahmadi, Tarek F Abdelzaher, and Indranil Gupta. Congestion control for spatio-temporal data in cyber-physical systems. In *Proceedings of the 1st ACM/IEEE International Conference on Cyber-Physical Systems*, pages 89–98. ACM, 2010.

Abiola Akanmu, C Anumba, and J Messner. Scenarios for cyber-physical systems integration in construction. *vol*, 18:240–260, 2013.

Archie Andrews and Jonathan McCune. Trusted computing in embedded systems workshop. Technical report, DTIC Document, 2011.

Aristotle. *Rhetoric*. Dover Thrift Editions. Dover Publications, 2012. ISBN 9780486115580. URL <https://books.google.co.uk/books?id=wW6qWDFztQC>. tradução: W. Rhys Roberts, ISBN:9780486115580.

Philip Asare, David Broman, Edward Lee, Martin Torngren, and Shyam Sunder. Cyber-physical systems, 2012. URL <http://cyberphysicalsystems.org/>. [Online; acessado 11-fev-2016].

Luigi Atzori, Antonio Iera, and Giacomo Morabito. The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15):2787–2805, 2010.

Albert Bandura. *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Prentice-Hall, Inc, 1986.

Silva Silva da Costa Botelho. Projeto de bolsa de produtividade em desenvolvimento industrial e extensão inovadora. Technical report, Universidade Federal do Rio Grande, 2015.

Stefanie Boyer and Brent Baker. Societal and organizational effects of covert marketing: A persuasion knowledge model approach. In *Proceedings of the 2007 Academy of Marketing Science (AMS) Annual Conference*, pages 28–28. Springer, 2015.

Alvaro Cardenas, Saurabh Amin, Bruno Sinopoli, Annarita Giani, Adrian Perrig, and Shankar Sastry. Challenges for securing cyber physical systems. In *Workshop on future directions in cyber-physical systems security*, 2009.

Robledo Castro. Um framework para desenvolvimento de sistemas persuasivos: Estudo de caso no projeto sapiens. Trabalho de conclusão de curso, Centro de Ciências Computacionais, 2015.

Robert B Cialdini. *As armas da persuasão: Como influenciar e não se deixar influenciar*, volume 1. Sextante, 2002. tradução: Ivo Korytowski, Rio de Janeiro, ePub, ISSN:978-85-7542-809-2.

Armando W Colombo, Thomas Bangemann, Stamatios Karnouskos, Jerker Delsing, Petr Stluka, Robert Harrison, Francois Jammes, and Jose L Lastra. Industrial cloud-based cyber-physical systems. *The IMC-AESOP Approach*, 2014.

C Cristalli, Matthias Foehr, T Jager, Paulo Leitao, N Paone, P Castellini, C Turrin, and Ingrid Schjolberg. Integration of process and quality control using multi-agent technology. In *Industrial Electronics (ISIE), 2013 IEEE International Symposium on*, pages 1–6. IEEE, 2013.

Edward L Deci and Richard M Ryan. Self-determination theory: A macrotheory of human motivation, development, and health. *Canadian Psychology/Psychologie canadienne*, 49 (3):182, 2008.

Arie Dijkstra. Technology adds new principles to persuasive psychology: evidence from health education. In *Persuasive Technology*, pages 16–26. Springer, 2006.

Tawanna Dillahunt, Geof Becker, Jennifer Mankoff, and Robert Kraut. Motivating environmentally sustainable behavior changes with a virtual polar bear. In *Pervasive 2008 Workshop Proceedings*, volume 8, pages 58–62, 2008.

Tharam Dillon and Elizabeth Chang. Cyber-physical systems as an embodiment of digital ecosystems. In *IEEE 8th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics*, 2010.

Felipe dos Santos Rios. Metodologia para desenvolvimento de interfaces persuasivas: um estudo em consumo sustentável de energia elétrica baseado em comportamento. Trabalho de conclusão de curso, Centro de Ciências Computacionais, 2015.

Daniela Dragomirescu. Cyber-physical systems for aeronautic applications. *Presentation Report*, 2010.

Anke Eyck, Kelvin Geerlings, Dina Karimova, Bernt Meerbeek, Lu Wang, Wijnand IJsselsteijn, Yvonne de Kort, Michiel Roersma, and Joyce Westerink. Effect of a virtual coach on athletes' motivation. In *Persuasive Technology*, pages 158–161. Springer, 2006.

Susan Shepherd Ferebee and James Wayne Davis. Factors that persuade continued use of facebook among new members. In *Proceedings of the 4th International Conference on Persuasive Technology*, page 35. ACM, 2009.

Leon Festinger. *A theory of cognitive dissonance*, volume 2. Stanford university press, 1962.

Roy Fielding and Julian Reschke. Hypertext transfer protocol (http/1.1): Message syntax and routing. *PROPOSED STANDARD*, 2014.

Daniel Firpo, Sumonta Kasemvilas, Peter Ractham, and Xuesong Zhang. Generating a sense of community in a graduate educational setting through persuasive technology. In *Proceedings of the 4th International Conference on Persuasive Technology*, page 41. ACM, 2009.

John Fitzgerald, T Mak, A Romanovsky, and A Yakovlev. *Workshop Proceedings: Trustworthy Cyber-Physical Systems*. Computing Science - Newcastle University, 2012.

Bj FOGG. Bj fogg's behavior model, 2015a. URL <http://www.behaviormodel.org/>. [Online; accessed 11-fev-2016].

Brian J Fogg. Persuasive technology: using computers to change what we think and do. *Ubiquity*, 2002(December):5, 2002.

Brian J Fogg. A behavior model for persuasive design. In *Proceedings of the 4th international Conference on Persuasive Technology*, pages 40–46. ACM, 2009. Claremont, CA. New York, NY: Association for Computing Machinery.

et al FOGG, Bj. References to related work, 2015b. URL <http://www.behaviormodel.org/references.html>. [Online; accessed 11-fev-2016].

Alain Forget, Sonia Chiasson, Paul C van Oorschot, and Robert Biddle. Persuasion for stronger passwords: Motivation and pilot study. In *Persuasive Technology*, pages 140–150. Springer, 2008.

Thoshitha T Gamage, Bruce M McMillin, and Thomas P Roth. Enforcing information flow security properties in cyber-physical systems: A generalized framework based on

compensation. In *Computer Software and Applications Conference Workshops (COMP-SACW), 2010 IEEE 34th Annual*, pages 158–163. IEEE, 2010.

Pilar Castro Garrido, Guillermo Matas Miraz, Irene Luque Ruiz, and Miguel Ángel Gómez-Nieto. A model for the development of nfc context-awareness applications on internet of things. In *Near Field Communication (NFC), 2010 Second International Workshop on*, pages 9–14. IEEE, 2010.

Roland Gasser, Dominique Brodbeck, Markus Degen, Jürg Luthiger, Remo Wyss, and Serge Reichlin. Persuasiveness of a mobile lifestyle coaching application using social facilitation. In *Persuasive Technology*, pages 27–38. Springer, 2006.

Hamid Gharavi, Hsiao-Hwa Chen, and Christian Wietfeld. Guest editorial special section on cyber-physical systems and security for smart grid. *Smart Grid, IEEE Transactions on*, 6(5):2405–2408, 2015.

Scott Graham, Girish Baliga, and P Roshan Kumar. Abstractions, architecture, mechanisms, and a middleware for networked control. *Automatic Control, IEEE Transactions on*, 54(7):1490–1503, 2009.

CPS Steering Group et al. Cyber-physical systems executive summary. *CPS Summit*, 2008.

Dominique Guinard, Vlad Trifa, Stamatis Karnouskos, Patrik Spiess, and Domnic Savio. Interacting with the soa-based internet of things: Discovery, query, selection, and on-demand provisioning of web services. *Services Computing, IEEE Transactions on*, 3(3): 223–235, 2010.

Volkan Gunes, Steffen Peter, Tony Givargis, and Frank Vahid. A survey on concepts, applications, and challenges in cyber-physical systems. *KSI Transactions on Internet and Information Systems (TIIS)*, 8(12):4242–4268, 2014.

Shah Ahsanul Haque, Syed Mahfuzul Aziz, and Mustafizur Rahman. Review of cyber-physical system in healthcare. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2014, 2014.

F Maxwell Harper, Sherry Xin Li, Yan Chen, and Joseph A Konstan. Social comparisons to motivate contributions to an online community. In *Persuasive Technology*, pages 148–159. Springer, 2007.

Don H Hockenbury and Sandra E Hockenbury. Descobriendo a psicologia. *São Paulo*, 2003.

Kevin Hogan. *The psychology of persuasion: how to persuade others to your way of thinking*. Pelican Publishing, 2010.

Xiping Hu, Terry Chu, Henry Chan, and Victor Leung. Vita: A crowdsensing-oriented mobile cyber-physical system. *Emerging Topics in Computing, IEEE Transactions on*, 1 (1):148–165, 2013.

He Huang, Yan Lindsay Sun, Qing Yang, Fan Zhang, Xiaorong Zhang, Yuhong Liu, Jin Ren, and Fabian Sierra. Integrating neuromuscular and cyber systems for neural control of artificial legs. In *Proceedings of the 1st ACM/IEEE International Conference on Cyber-Physical Systems*, pages 129–138. ACM, 2010.

Yinghui Huang and Guanyu Li. A semantic analysis for internet of things. In *Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 2010 International Conference on*, volume 1, pages 336–339. IEEE, 2010.

Eduardo; Novaes Insaurriga. O futuro da persuasão móvel: um estudo sobre aplicativos de condicionamento físico. Dissertação de mestrado, Departamento de Artes & Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2012.

Toby JAFFEY. Mqtt and coap, iot protocols. [http://www.eclipse.org/community/eclipse\\_newsletter/2014/february/article2.php](http://www.eclipse.org/community/eclipse_newsletter/2014/february/article2.php), 2014. [Online; acessado 11-fev-2016].

Nasser Jazdi. Cyber physical systems in the context of industry 4.0. In *Automation, Quality and Testing, Robotics, 2014 IEEE International Conference on*, pages 1–4. IEEE, 2014.

Wei Jiang, Wensheng Guo, and Nan Sang. Periodic real-time message scheduling for confidentiality-aware cyber-physical system in wireless networks. In *Frontier of Computer Science and Technology (FCST), 2010 Fifth International Conference on*, pages 355–360. IEEE, 2010.

Min-Woo Jung and Jeonghun Cho. Interoperability and control systems for medical cyber physical systems. In *IT Convergence and Security 2012*, pages 283–291. Springer, 2013.

Karin Kappel and Thomas Grechenig. Show-me: water consumption at a glance to promote water conservation in the shower. In *Proceedings of the 4th international conference on persuasive technology*, page 26. ACM, 2009.

Maurits Kaptein, Boris De Ruyter, Panos Markopoulos, and Emile Aarts. Adaptive persuasive systems: a study of tailored persuasive text messages to reduce snacking. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems (TiiS)*, 2(2):1–25, 2012.

Harold H Kelley. Attribution theory in social psychology. In *Nebraska symposium on motivation*. University of Nebraska Press, 1967.

Kyoung-Dae Kim and Panganamala R Kumar. Cyber-physical systems: A perspective at the centennial. *Proceedings of the IEEE*, 100(Special Centennial Issue):1287–1308, 2012.

Bruce H Krogh. Cyber physical systems: The need for new models and design paradigms. *Presentation Report*, 2008.

C.L Lambert. Baby think it over, inc. *American Academy of Pediatrics*, 107(4):806–807, 2007. WI 54701, United States, ISSN: 00314005, DOI: 10.1542/peds.107.4.806.

Edward Lee et al. Cyber physical systems: Design challenges. In *Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), 2008 11th IEEE International Symposium on*, pages 363–369. IEEE, 2008.

Edward A Lee. Cyber-physical systems-are computing foundations adequate. In *Position Paper for NSF Workshop On Cyber-Physical Systems: Research Motivation, Techniques and Roadmap*, volume 2. Citeseer, 2006.

Edward Ashford Lee and Sanjit Arunkumar Seshia. *Introduction to embedded systems: A cyber-physical systems approach*. Lee & Seshia, 2011.

Insup Lee and Oleg Sokolsky. Medical cyber physical systems. In *Proceedings of the 47th Design Automation Conference*, pages 743–748. ACM, 2010.

Jay Lee, Behrad Bagheri, and Hung-An Kao. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3:18–23, 2015.

Paulo Leitão, Armando Walter Colombo, and Stamatis Karnouskos. Industrial automation based on cyber-physical systems technologies: Prototype implementations and challenges. *Computers in Industry*, 2015.

Di Li, Fang Li, Xin Huang, Yizong Lai, and Shixiong Zheng. A model based integration framework for computer numerical control system development. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 26(4):333–343, 2010.

Husheng Li, Aleksandar Dimitrovski, Ju Bin Song, Zhu Han, and Lijun Qian. Communication infrastructure design in cyber physical systems with applications in smart grids: a hybrid system framework. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, 16(3):1689–1708, 2014.

Jason Madden, Bruce McMillin, and Anik Sinha. Environmental obfuscation of a cyber physical system-vehicle example. In *Computer Software and Applications Conference Workshops (COMPSACW), 2010 IEEE 34th Annual*, pages 176–181. IEEE, 2010.

Thomas J Madden, Pamela Scholder Ellen, and Icek Ajzen. A comparison of the theory of planned behavior and the theory of reasoned action. *Personality and social psychology Bulletin*, 18(1):3–9, 1992.

Cesar A Marin, Lars Monch, Paulo Leitao, Pavel Vrba, Daria Kazanskaia, Vadim Chepegin, Liwei Liu, and Nikolay Mehandjiev. A conceptual architecture based on intelligent services for manufacturing support systems. In *Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2013 IEEE International Conference on*, pages 4749–4754. IEEE, 2013.

Peter Marwedel. *Embedded system design: Embedded systems foundations of cyber-physical systems*. Springer Science & Business Media, 2010.

Abraham Harold Maslow. A theory of human motivation. *Psychological review*, 50(4): 370, 1943.

Teddy McCalley, Florian Kaiser, Cees Midden, Merijn Keser, and Maarten Teunissen. Persuasive appliances: goal priming and behavioral response to product-integrated energy feedback. In *Persuasive Technology*, pages 45–49. Springer, 2006.

Cees Midden, Teddy McCalley, Jaap Ham, and Ruud Zaalberg. Using persuasive technology to encourage sustainable behavior. *Workshop paper at Sixth International Conference on Pervasive Computing*, 1:83 — 86, 2008.

Robert Mitchell and Ing-Ray Chen. A survey of intrusion detection techniques for cyber-physical systems. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 46(4):55, 2014.

Robert Mitchell, I Chen, et al. Effect of intrusion detection and response on reliability of cyber physical systems. *Reliability, IEEE Transactions on*, 62(1):199–210, 2013.

Margaret Morris and Farzin Guilak. Mobile heart health: project highlight. *Pervasive Computing, IEEE*, 8(2):57–61, 2009.

MQTT. Mqtt specification version. [public.dhe.ibm.com/software/dw/webservices/ws-mqtt/mqtt-v3r1.html](http://public.dhe.ibm.com/software/dw/webservices/ws-mqtt/mqtt-v3r1.html), 2010. [Online; accessed 10-fev-2016].

Stephend Nicholas. Power profiling: Https long polling vs. mqtt with ssl, on android. <http://stephendnicholas.com/archives/1217>, 2012. [Online; accessed 10-fev-2016].

Donald A Norman. *The invisible computer: why good products can fail, the personal computer is so complex, and information appliances are the solution*. MIT press, 1998.

Pierluigi Nuzzo, Alberto L Sangiovanni-Vincentelli, Davide Bresolin, Luca Geretti, and Tiziano Villa. A platform-based design methodology with contracts and related tools for the design of cyber-physical systems. *Proceedings of the IEEE*, 103(11):2104–2132, 2015.

Jerome Le Ny and George J Pappas. Robustness analysis for the certification of digital controller implementations. In *Proceedings of the 1st ACM/IEEE International Conference on Cyber-Physical Systems*, pages 99–108. ACM, 2010.

OpenHab. Openhab introduction, 2014. URL <http://www.openhab.org/features/introduction.html>. [Online; acessado 11-fev-2016].

Jeanne Ellis Ormrod and Kevin M Davis. *Human learning*. Merrill, 2004.

Luca Parolini, Niraj Tolia, Bruno Sinopoli, and Bruce H Krogh. A cyber-physical systems approach to energy management in data centers. In *Proceedings of the 1st ACM/IEEE International Conference on Cyber-Physical Systems*, pages 168–177. ACM, 2010.

Richard E. Petty and John T. Cacioppo. *The elaboration likelihood model of persuasion*. Springer, 1986.

James O Prochaska. Transtheoretical model of behavior change. In *Encyclopedia of behavioral medicine*, pages 1997–2000. Springer, 2013.

Morgan Quigley, Ken Conley, Brian Gerkey, Josh Faust, Tully Foote, Jeremy Leibs, Rob Wheeler, and Andrew Y Ng. Ros: an open-source robot operating system. In *ICRA workshop on open source software*, volume 3, page 5, 2009.

Ragunathan Raj Rajkumar, Insup Lee, Lui Sha, and John Stankovic. Cyber-physical systems: the next computing revolution. In *Proceedings of the 47th Design Automation Conference*, pages 731–736. ACM, 2010.

A Assmar Rodrigues. Eml & jablonski, b. *Psicologia Social. Petrópolis: Vozes*, 2002.

ROS. Ros wiki, 2014. URL <http://wiki.ros.org/pt>. [Online; acessado 11-fev-2016].

Badri Roysam. Cyber-enabled biolabs for studying complex & dynamic biological systems. In *NSF Symposium on Cyber-enabled Discovery and Innovation, Troy*, 2007.

Privender Saini and Joyca Lacroix. Self-setting of physical activity goals and effects on perceived difficulty, importance and competence. In *Proceedings of the 4th International Conference on Persuasive Technology*, page 33. ACM, 2009.

Krishna Sampigethaya and Radha Poovendran. Aviation cyber–physical systems: foundations for future aircraft and air transport. *Proceedings of the IEEE*, 101(8):1834–1855, 2013.

Gunar Schirner, Deniz Erdogmus, Kaushik Chowdhury, and Taskin Padir. The future of human-in-the-loop cyber-physical systems. *Computer*, 1(1):36–45, 2013.

Lui Sha, Sathish Gopalakrishnan, Xue Liu, and Qixin Wang. Cyber-physical systems: A new frontier. In *Machine Learning in Cyber Trust*, pages 3–13. Springer, 2009.

Jianhua Shi, Jiafu Wan, Hehua Yan, and Hui Suo. A survey of cyber-physical systems. In *Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), 2011 International Conference on*, pages 1–6. IEEE, 2011.

Chanan Singh and Alex Sprintson. Reliability assurance of cyber-physical power systems. In *Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE*, pages 1–6. IEEE, 2010.

Burrhus F Skinner. Are theories of learning necessary? *Psychological review*, 57(4):193, 1950.

Siddharth Sridhar, Adam Hahn, and Manimaran Govindarasu. Cyber–physical system security for the electric power grid. *Proceedings of the IEEE*, 100(1):210–224, 2012.

Anthony A Sterns and Christopher B Mayhorn. Persuasive pillboxes: Improving medication adherence with personal digital assistants. In *Persuasive Technology*, pages 195–198. Springer, 2006.

Örjan Svane. Helping, informing or coaxing the consumer? exploring persuasive technology as applied to household’s energy use. In *Proceedings of the Nordic consumer policy research conference*, volume 1, pages 1–11. Citeseer, Elsevier Science B.V., 2007. Issue 11.

Ying Tan, Steve Goddard, and Lance C Perez. A prototype architecture for cyber-physical systems. *ACM Sigbed Review*, 5(1):26, 2008.

Lu An Tang, Quanquan Gu, Xiao Yu, Jiawei Han, Thomas F La Porta, Alice Leung, Tarek F Abdelzaher, and Lance M Kaplan. Intrumine: Mining intruders in untrustworthy data of cyber-physical systems. In *SDM*, pages 600–611. SIAM, 2012.

J.S. Uleman and J.A. Bargh. *Unintended Thought*. Guilford Press, 1989. ISBN 9780898623796. URL <https://books.google.com.br/books?id=HT6ddclz6EAC>.

Unity. Game engine tools. <http://unity3d.com/unity>, 2015., 2015. [Online; acessado 14-mar-2016].

Wendelien Van Eerde and Henk Thierry. Vrooms expectancy models and work-related criteria: A meta-analysis. *Journal of applied psychology*, 81(5):575, 1996.

Paulo Esteves Verissimo. Mb4cp 2015 keynote ii: Resilience of cyber-physical energy systems. In *Dependable Systems and Networks Workshops (DSN-W), 2015 IEEE International Conference on*, pages 3–3. IEEE, 2015.

Hongpeng Wang, Jingtai Liu, and Jianda Han. Rs-cps: A distributed architecture of robotic surveillance cyber-physical system in the nature environment. In *Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER), 2015 IEEE International Conference on*, pages 1287–1292. IEEE, 2015.

Jin Wang, Hassan Abid, Sungyoung Lee, Lei Shu, and Feng Xia. A secured health care application architecture for cyber-physical systems. *arXiv preprint arXiv:1201.0213*, 2011.

John B Watson. Psychology as the behaviorist views it. *Psychological review*, 20(2):158, 1913.

Mark Weiser and John Seely Brown. The coming age of calm technology. In *Beyond calculation*, pages 75–85. Springer, 1997.

Evan Welbourne, Leilani Battle, Gregory Cole, Kyle Gould, Kyle Rector, Samuel Raymer, Magdalena Balazinska, and Gaetano Borriello. Building the internet of things using rfid: the rfid ecosystem experience. *Internet Computing, IEEE*, 13(3):48–55, 2009.

M. Wolf. *High-Performance Embedded Computing: Applications in Cyber-Physical Systems and Mobile Computing*. Elsevier Science, 2014. ISBN 9780124104884. URL <https://books.google.com.br/books?id=DiqSAgAAQBAJ>. [Online; accessed 11-fev-2016].

Bo Yan and Guangwen Huang. Supply chain information transmission based on rfid and internet of things. In *Computing, Communication, Control, and Management, 2009. CCCM 2009. ISECS International Colloquium on*, volume 4, pages 166–169. IEEE, 2009.

Lucy Zhang. Building facebook messenger. <https://www.facebook.com/notes/facebook-%20engineering/buildingfacebook-%20messenger/10150259350998920>, 2011. [Online; accessed 10-fev-2016].

Tongzhu Zhang, Xueping Wang, Jiangwei Chu, Xianghai Liu, and Pengfei Cui. Automotive recycling information management based on the internet of things and rfid technology. In *Advanced Management Science (ICAMS), 2010 IEEE International Conference on*, volume 2, pages 620–622. IEEE, 2010.

Peng Zhao, Siddharth Suryanarayanan, and Marcelo Godoy Simoes. An energy management system for building structures using a multi-agent decision-making control methodology. *Industry Applications, IEEE Transactions on*, 49(1):322–330, 2013.

Yun Zhu, Edwin Westbrook, Jun Inoue, Alexandre Chapoutot, Cherif Salama, Marisa Peralta, Travis Martin, Walid Taha, Marcia O'Malley, Robert Cartwright, et al. Mathematical equations as executable models of mechanical systems. In *Proceedings of the 1st ACM/IEEE International Conference on Cyber-Physical Systems*, pages 1–11. ACM, 2010.

## ANEXO A FOTOS DO EXPERIMENTO



Figura 21: Imagem da *Smartcenter* em execução no experimento

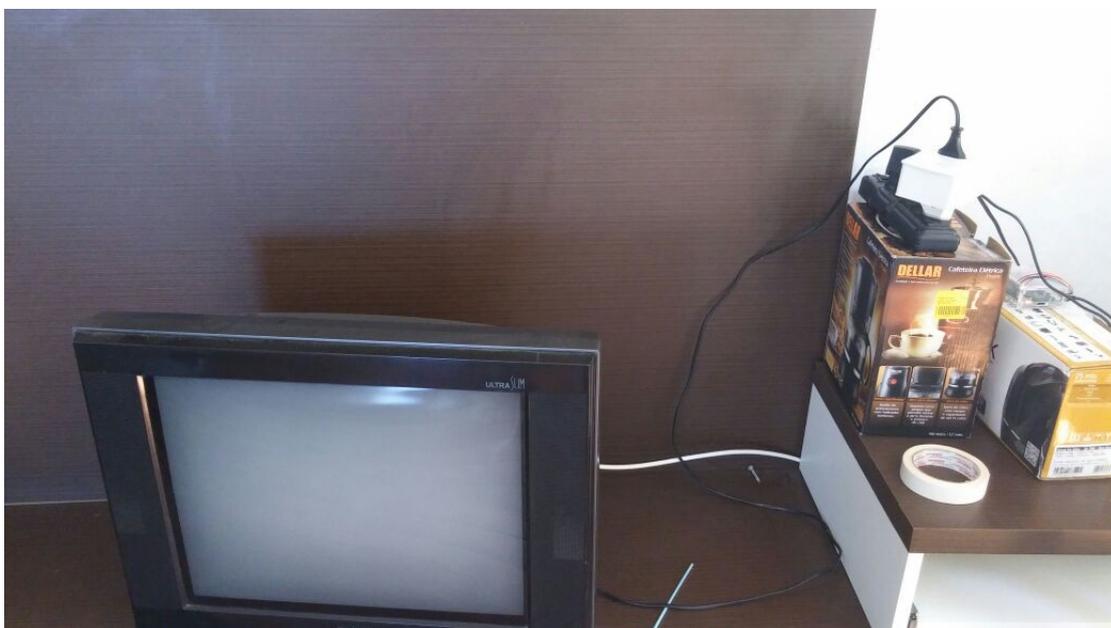


Figura 22: Imagem da televisão ligada ao *Smart plug*



Figura 23: Imagem da *Smartcam* em execução no experimento

## ANEXO B LISTA DE TECNOLOGIAS DO OPENHAB

Tabela 18: Tecnologias suportadas pelo OpenHab

Tecnologia/Dispositivo	Tipo	Palavras chave	Desenvolvedor
Zibase	Dispositivo	Iluminação, Aquecimento, Segurança, Medição, Fechadura	zwave
Yamaha AVR	Dispositivo	Áudio, Vídeo	yamaha
xPL	Protocolo	Automação Residencial	xPL
Xively	Núvem	Dados, Gráficos	xively
XBMC	MediaCenter	Áudio, Vídeo, Fotos	xbmc
X10 (through Insteon PLM)	Dispositivo	Iluminação, Interruptor, Aquecimento	x10
Withings	Dispositivo	Ginástica, quantified self	withings
Waterkotte Ecotouch	Dispositivo	Aquecimento	ecotouch

Tabela 19: Tecnologias suportadas pelo OpenHab

Tecnologia/Dispositivo	Tipo	Palavras chave	Desenvolvedor
Wake on LAN	Protocolo	Rede	wol
WAGO	Dispositivo	Iluminação, Aquecimento	wago
Vitotronic	Dispositivo	Aquecimento	vitotronic
Vellemann K8055	Dispositivo	gpio	k8055
VDR	Dispositivo	Vídeo, tv	vdr
Twitter	Núvem	social	twitter
Tivo	Dispositivo	Vídeo, multi- media	tivo
Tinkerforge	Dispositivo	io, diy	tinkerforge
Tesla Motors	Dispositivo	car	tesla
Tellstick	Wireless	Iluminação, sockets, Dispositivos	tellstick
TCP/UDP	Protocolo	Rede	tcp
system Info	Dispositivo	sistemas, Rede	sistemasinfo
Swegon	Dispositivo	Clima, Ventilação	swegon
Squeezebox	Dispositivo	Áudio, Música	squeeze
Souliss	Dispositivo	arduino, Dis- positivos	souliss
Sonos	Dispositivo	Áudio, Música	sonos
Somfy URTSI	Dispositivo	Cortinas	urtsi
SNMP	Protocolo	Rede	snmp
Serial	Protocolo	serial	serial
Sen.se	Núvem	Dados, Gráficos	sense
Satel Integra Alarm sistemas	Dispositivo	Segurança	satel
Samsung TV	Dispositivo	tv, Vídeo	samsungtv

Tabela 20: Tecnologias suportadas pelo OpenHab

Tecnologia/Dispositivo	Tipo	Palavras chave	Desenvolvedor
SagerMeteorologiaCaster	Algoritmos	Meteorologia	sagerMeteorologiacaster
RME Rainmaster	Dispositivo	Irrigação	-
RFXCOM	Wireless	Iluminação, Aquecimento, Segurança	rfxcom
Pushover	Núvem	social, mensa- gens	-
PulseÁudio Server	Dispositivo	Áudio, Música	pulseÁudio
Prowl	Núvem	social, mensa- gens	-
Primare	Dispositivo	Áudio, Vídeo	primare
Plugwise	Wireless	Iluminação, Medição	plugwise
Plex	<i>software</i>	Áudio, Vídeo	plex
PLC Bus	Powerline		plcbus
Pioneer AV Receiver	Dispositivo	Áudio, Vídeo	pioneeravr
piIluminação	Dispositivo		piIluminação
Piface	Dispositivo		piface
Philips Hue	Wireless	Iluminação	hue
Panasonic TV	Dispositivo	tv	panasonictv
Openpaths	Protocolo	Geolocalização	openpaths
Open Sprinkler	Dispositivo	Plantas	openSprinkler
Open Energia Monitor	Dispositivo	Energia	openEnergiamonitor
Onkyo AV Receiver	Dispositivo	Áudio, Vídeo	onkyo
One Wire	Wired	Iluminação, Aquecimento, Clima	onewire
Oceanic Water Softener	Dispositivo	Água	-
NTP	Protocolo	date, time	ntp
Novelan/Luxtronic	Dispositivo	Aquecimento, bomba de calor	novelanheatpump

Tabela 21: Tecnologias suportadas pelo OpenHab

Tecnologia/Dispositivo	Tipo	Palavras chave	Desenvolvedor
Nikobus	Wired	Iluminação, Cortinas, Segurança	nikobus
Nibe Heat Pump	Dispositivo	Aquecimento, bomba de calor	nibeheatpump
Rede UPS Tool	Dispositivo	Rede, infraes- trutura	nut
Rede Saúde	Protocolo	Rede, ping	nh
Netatmo	Dispositivo	Meteorologia, Clima	netatmo
Nest	Dispositivo	Aquecimento, Segurança	nest
MQTTitude	Protocolo	localização	mqttitude
MQTT	Protocolo	mensagens, bus	mqtt
Mpd	Protocolo	Áudio, Música	mpd
Modbus	Wired	Iluminação, Aquecimento, Medição, Ventilação, Clima, indus- trial	modbus
miIluminação	Wireless	Iluminação	miIluminação

Tabela 22: Tecnologias suportadas pelo OpenHab

Tecnologia/Dispositivo	Tipo	Palavras chave	Desenvolvedor
MAX!Cube	Wireless	Iluminação, Aquecimento, Cortinas, Segurança, Medição, Ventilação, Clima	maxcube
Mailcontrole	Protocolo	controle	-
Logitech Harmony	Dispositivo	controle Remoto	harmony
Iluminaçãowave RF	Dispositivo	controle Remoto	-
LIFX	Dispositivo	Iluminação	lifx
Libelium eSaúde Kit	Dispositivo	Saúde	-
LG TV	Dispositivo	Vídeo	lgtv
Leviton/HAI Omnilink	Protocolo	home automação, Segurança, Iluminações, thermostats, Áudio, Vídeo	omnilink
Koubachi	Wireless	Plantas	koubachi
KNX	Wired	Iluminação, Aquecimento, Cortinas, Segurança, Medição, Ventilação, Clima	knx
KEBA EV Charging Station	Dispositivo	ev, Energia	lifx
Jointspace	Protocolo	Áudio, Vídeo	jointspace
IRTrans	Wireless	infra verme- lho, Clima, Áudio, Vídeo	irtrans
Insteon PLM	Powerline	Iluminação, Cortinas, Segurança	insteonplm
Insteon Hub	Powerline	Iluminação, Cortinas, Segurança	insteonhub

Tabela 23: Tecnologias suportadas pelo OpenHab

Tecnologia/Dispositivo	Tipo	Palavras chave	Desenvolvedor
IHC / ELKO	Wired	Iluminação, Aquecimento, Cortinas, Segurança, Medição	ihc
IEC 6205621	Dispositivo	Medição	iec6205621
HTTP	Protocolo	http	http
HomeMatic	Wireless	Iluminação, Aquecimento, Cortinas, Segurança, Medição	homematic
HMS FHZ 1x00	Dispositivo	temperatura, Humidade	hms
Heatmiser	Wired	Aquecimento	heatmiser
HDAnywhere	Dispositivo	Áudio, Vídeo	hdanywhere
GPIO	Dispositivo	sistemas, gpio	gpio
Google Calendar	Núvem	automação, agendamento	gcal
Frontier Silicon Radio	Dispositivo	Áudio	frontiersilicon
Fritz Box	PBX	telefonía, sip	fritzbox
Fritz AHA	Wireless Powerline	Iluminação, Medição	fritzaha
FreeInterruptor	PBX	telefonía, sip	freeInterruptor
Exec	Protocolo	cli	exec
Epson Projector	Dispositivo	Vídeo, proje- tor	epsonprojector
Enphase Energia	Dispositivo	pv	enphase
EnOcean	Wireless	Iluminação, Aquecimento, Medição	enocean
Enigma2	Dispositivo	av	-
Energenie	Dispositivo	Energia saving	energenie
eKey	Dispositivo	fingerpínt, Segurança, ac- cess controle	eKey
ecobee	Dispositivo	Aquecimento	ecobee
eBus	Protocolo	hvac	eBus
DSMR Smartmeter	Dispositivo	smart meter	dsmr
DSC Alarm	Serial	Segurança	dscalarm
Dropbox	Núvem	storage	dropbox

Tabela 24: Tecnologias suportadas pelo OpenHab

Tecnologia/Dispositivo	Tipo	Palavras chave	Desenvolvedor
DMX	Wired	Iluminação	dmx
digitalSTROM	Powerline	Iluminação, Medição, Cortinas	digitalstrom
Denon	Dispositivo	Áudio, Vídeo	denon
Davis	Dispositivo	Meteorologia	davis
Daikin	Dispositivo	Clima	daikin
CUPS	Dispositivo	printer	cups
ComfoAir Zehnder	Dispositivo	Ventilação, Clima	comfoair
Bticino/Legrand	Dispositivo	door commu- nication	bticino
Bluetooth	Wireless	presence, wea- rables	bluetooth
BenQ Projector	Dispositivo	av	benqprojector
Belkin Wemo	Wireless	Iluminação, Interruptor	wemo
Autelis	Dispositivo	pool	autelis
Astro	sistemas	astronomical time	astro
Asterisk	PBX	telefonía, sip	asterisk
Anel NET-PwrCtrl	Dispositivo	Iluminação, io	anel
AlarmDecoder	Dispositivo	Segurança	alarmdecoder