

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

**ANDRÉ LUIZ A. C. VENÂNCIO  
GUILHERME LOURO BREZINSKI**

**SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE MATURIDADE INDUSTRIAL  
BASEANDO-SE NOS CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CURITIBA**

**2017**

**ANDRÉ LUIZ A. C. VENÂNCIO**  
**GUILHERME LOURO BREZINSKI**

**SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE MATURIDADE INDUSTRIAL**  
**BASEANDO-SE NOS CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de TCC2, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo de Freitas Rocha Loures

**CURITIBA**

**2017**

André Luiz Alcântara Castilho Venâncio  
Guilherme Louro Brezinski

# SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE MATURIDADE INDUSTRIAL BASEANDO-SE NOS CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro de Controle e Automação, do curso de Engenharia de Controle e Automação do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 02 de março de 2017.

---

Prof. Paulo Sérgio Walenia, Esp.  
Coordenador de Curso  
Engenharia de Controle e Automação

---

Prof. Marcelo de Oliveira Rosa, Dr.  
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia de Controle e Automação do DAELT

## **ORIENTAÇÃO**

---

Eduardo de Freitas Rocha Loures, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

## **BANCA EXAMINADORA**

---

Eduardo de Freitas Rocha Loures, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Jorge Assade Leludak, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Fernando Deschamps, Dr.  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, a Deus pela motivação, força e disciplina necessárias para não desistir.

Aos pais, por serem os maiores incentivadores e patrocinadores deste sonho, e por manterem acesa a chama da esperança por mais árduo que fosse o caminho.

A Antonielle e Karen, pela dedicação incondicional, pelo apoio e pela experiência compartilhada conosco para a realização deste trabalho.

Aos amigos, familiares e colegas, que nos apoiaram e por diversas vezes compartilharam conosco as dores e os prazeres da caminhada.

Ao nosso orientador, Eduardo Rocha Loures, pela inestimável fé em nosso trabalho, pela disposição em ajudar, paciência e confiança. Por compartilhar conosco conhecimento e dedicação.

A todos os professores e funcionários, pois nada no mundo é mais importante do que a dedicação em ensinar e formar bons profissionais e principalmente bons cidadãos.

Ao grupo de pesquisa em Indústria 4.0 ligado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS) da PUCPR pela dedicação em fazer este projeto acontecer.

A banca examinadora, pela disposição de tempo e pela tão importante contribuição neste trabalho.

*“Nossa maior fraqueza está em desistir.*

*O caminho mais certo para vencer é*

*tentar mais uma vez. ”*

*- Thomas Edison*

## RESUMO

BREZINSKI, Guilherme L.; VENÂNCIO, André L. A. C. **Sistema de avaliação de maturidade industrial baseando-se nos conceitos de Indústria 4.0.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Controle e Automação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

A atual conjuntura tecnológica da indústria passa por drásticas transformações, alavancada por uma crescente demanda na capacidade da produção, forçando uma quantidade cada vez maior de informação compartilhada para realizar a melhoria contínua dos meios de produção e criar e integrar sistemas cada vez menos dependentes dos seres humanos. O maior desafio desta nova conjuntura é entender e alinhar o conceito da Indústria 4.0 para desenvolver o parque industrial de forma correta e coerente à sua realidade e planta instalada. No Brasil, o cenário é ainda pior pois a grande maioria das indústrias não atingiu o nível tecnológico adequado e sugerido para o cumprimento dos requisitos envolvidos. Um sistema para avaliação do atual nível de maturidade tecnológica dessas indústrias, em diferentes dimensões de análise, é importante para direcionar esforços organizacionais e responsáveis pelas necessárias mudanças. Neste trabalho é apresentado esse sistema, desenvolvido em plataforma específica voltada a aplicativo móvel, com objetivo de tornar a experiência do usuário no processo de avaliação simples e rápida. Tal aplicativo instancia o método de avaliação multicritério AHP (Analytic Hierarchy Process) que atua como mecanismo de análise das diferentes capacidades dos critérios relativos à Indústria 4.0, inferindo sobre o nível de maturidade industrial da entidade sob avaliação. Os critérios e suas diferentes categorias seguem um dos mais robustos modelos de Indústria 4.0 existentes atualmente. O sistema resultante, intitulado Go44, foi testado por profissionais da área de interesse e seus resultados submetidos à avaliação destes profissionais e pesquisadores.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0, AHP, sistema de avaliação, aplicativo, maturidade tecnológica.

## ABSTRACT

BREZINSKI, Guilherme L.; VENÂNCIO, André L. A. C. **Industrial maturity evaluation system based on the concepts of Industry 4.0**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Controle e Automação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

The current technological situation of the industry undergoes drastic transformations, leveraged by an increasing demand in the capacity of the production, forcing an increasing amount of shared information to keep the continuous improvement of the production and to create and to integrate systems each time fewer dependent on people. The biggest challenge of this new conjuncture is to align the concept to develop the industrial park in a correct and coherent way to its reality and installed plant. In Brazil, the scenario is even worse because the vast majority of industries have not reached the appropriate and suggested technological level to fulfill the requirements involved. A system for assessing the current level of technological maturity of these industries, in different dimensions of analysis, is important to direct organizational efforts for the necessary changes. This work presents this system, developed in a specific platform focused on the mobile application, aiming to make the user experience in the evaluation process simple and fast. This application uses the AHP (Analytic Hierarchy Process) multicriteria evaluation method that acts as a mechanism for analyzing the different capabilities of the Industry 4.0 criteria, inferring the level of industrial maturity of the entity being evaluated. The criteria and their different categories follow one of the most robust existing Industry 4.0 models. The resulting system, titled Go44, was tested by professionals in the area of interest and their results submitted to the evaluation of these professionals and researchers.

**Keywords:** Industry 4.0, AHP, evaluation system, app, technological maturity.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Linha Histórica da Revolução Industrial .....	24
Figura 2 - Cyber-physical system .....	27
Figura 3 - Processo de tomada de decisão genérico. ....	28
Figura 4 - Arquitetura AHP, exemplo de Hierarquia de Decisão .....	30
Figura 5 - Exemplo de matriz de comparação.....	31
Figura 6 - Fluxograma da organização das bases referenciais .....	33
Figura 7 - Framework da Industria 4.0 .....	35
Figura 8 - Execução de processos .....	36
Figura 9 - Exemplo ambiente DEV-C++ .....	42
Figura 10 - Modelo simples AHP em SuperDecisions .....	43
Figura 11 - Janela de comparação par-a-par .....	43
Figura 12 - Tela de desenvolvimento MIT App Inventor 2 .....	44
Figura 13 - Tela de desenvolvimento por blocos.....	45
Figura 14 - Exemplo de tabela em Fusion Tables .....	46
Figura 15 - Exemplo de tabela em Excel.....	47
Figura 16 - Fluxograma de organização metodológica .....	49
Figura 17 - Modelo AHP para Indústria 4.0 .....	51
Figura 18 - Visão aproximada do primeiro nível (objetivo) .....	53
Figura 19 - Visão aproximada do nível, os quatro pilares fundamentais .....	54
Figura 20 - Visão aproximada do nível das duas vertentes de cada pilar .....	56
Figura 21 - Visão aproximada do nível dos habilitadores tecnológicos .....	57
Figura 22 - Avaliação no SuperDecisions .....	58
Figura 23 - Índice de Inconsistência.....	59
Figura 24 - Código, critérios e peso das comparações .....	60
Figura 25 - Auto vetores, autovalores .....	61
Figura 26 - Índice de coerência e cálculo de Inconsistência .....	61
Figura 27 - Logo Aplicativo Go 44 .....	63
Figura 28 - Identidade visual da aplicação .....	64
Figura 29 - Fluxograma de Experiência de Usuário .....	65
Figura 30 - Tela de login e cadastro.....	66
Figura 31 - Tela de avaliação pilares .....	67
Figura 32 - Tela de avaliação nível tático .....	68
Figura 33 - Tela de avaliação operacional .....	69
Figura 34 - Tela de avaliação operacional 2.....	69
Figura 35 - Relevância das tecnologias .....	70
Figura 36 - Tela de avaliação da capacidade .....	71
Figura 37 - Fluxograma de Back-end .....	72



Figura 38 - Gráfico tipo explosão solar.....	74
Figura 39 - Gráfico tipo radar .....	75
Figura 40 - Primeira folha relatório final .....	76
Figura 41 - Folha de avaliação relatório final.....	77
Figura 42 - Última folha relatório final.....	78
Figura 43 - Relação entre tecnologias.....	82
Figura 44 - Diferença entre Solutions, Innovation, Supply Chains e Factory .....	83
Figura 45 - Exemplo de inconsistência constada no relatório final.....	83
Figura 46 - Inter travamento dos botões .....	85
Figura 47 - Precisão dos valores.....	86
Figura 48 - Velocidade de execução, considerando apenas o método AHP.....	87
Figura 49 - Avaliação, critério da esquerda em relação ao da direita.....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parte dos valores de consistência randômicos .....	32
Tabela 2 - Resultado de cálculo AHP .....	73
Tabela 3- Feedback dos avaliadores. ....	85

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 TEMA .....	13
1.1.1 Delimitação do Tema .....	15
1.2 PROBLEMA E PREMISSAS .....	15
1.3 OBJETIVOS .....	16
1.3.1 Objetivo Geral .....	17
1.3.2 Objetivos Específicos .....	17
1.4 JUSTIFICATIVA .....	18
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	19
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	19
1.7 CRONOGRAMA EXECUTADO .....	21
<b>2 BASE CONCEITUAL .....</b>	<b>22</b>
2.1 INDÚSTRIA 4.0 .....	23
2.1.1 Conceito .....	25
2.1.2 Machine-to-Machine (M2M) .....	25
2.1.3 Internet das Coisas (IoT) .....	26
2.1.4 Cyber-physical systems (CPS) .....	26
2.2 MCDM .....	28
2.2.1 Método AHP .....	29
2.2.2 Modelagem Ambiente Super Decisions .....	32
<b>3 BASES CONCEITUAIS E TECNOLÓGICAS ADOTADAS .....</b>	<b>33</b>
3.1 BASE CONCEITUAL REFERENCIAL .....	34
3.1.1 Industry 4.0- The Capgemini Consulting View .....	34
3.2 BASE FERRAMENTAL DE DESENVOLVIMENTO .....	41
3.2.1 Dev C++ .....	41
3.2.2 Super Decisions .....	42
3.2.3 MIT App Inventor 2 .....	43
3.2.4 Google Fusion Tables .....	45
3.2.5 Microsoft Office Excel .....	46
<b>4 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>48</b>
4.1 MODELAGEM .....	49
4.2 ESPECIFICAÇÃO .....	62
4.2.1 Aplicativo .....	62
4.2.2 Experiência de usuário .....	65
4.2.2.1 Login e Cadastro .....	66
4.2.2.2 Tela Home .....	67

4.2.2.3 Telas de Avaliação.....	67
4.2.2.4 Tela de Resultado .....	71
4.2.3 Back End .....	71
4.3 RESULTADOS PARCIAIS .....	72
4.3.1 Resultados .....	73
4.3.2 Gráficos .....	74
4.3.3 Relatório Final de Avaliação .....	75
<b>5 ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>79</b>
5.1 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO .....	79
5.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	80
5.2.1 Avaliações .....	81
5.2.2 Consistência .....	83
5.3 ANÁLISE .....	83
5.3.1 Análise Front End .....	84
5.3.2 Análise Back End.....	86
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>90</b>
6.1 CONCLUSÕES .....	90
6.2 DIFICULDADES E DESAFIOS FUTUROS .....	91
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>93</b>
<b>APÊNDICE A- RELATÓRIO FINAL DE AVALIAÇÃO .....</b>	<b>96</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento da necessidade de interoperabilidade (capacidade de um sistema de se comunicar de forma clara com outro sistema, sendo estes semelhantes ou não) e conectividade ao redor no planeta, torna-se cada vez mais comum a utilização de ferramentas *online*, não apenas do ponto de vista tecnológico pessoal ou comercial, mas também a utilização desse tipo de ferramenta na indústria para tornar o processo fabril cada vez mais ágil, fácil e confiável.

O conceito de Indústria 4.0 surgiu na feira de Hannover em 2011, com uma proposta simples: conectar máquinas, sistemas e pessoas ao processo produtivo, para assim permitir melhorar a logística da produção, a utilização de recursos, menor margem de erro e de uso de matérias primas. Ela abrange um conjunto de tecnologias que permitem produtos inteligentes integrados em um processo digital interligado (SCHMIDT et al, 2015).

A indústria 4.0, ou manufatura avançada (termo mais comumente utilizado no Brasil) é considerada a quarta revolução industrial por alguns especialistas, muito embora outros considerem como apenas um movimento natural da indústria, influenciado pela evolução da automação. O fato é que este movimento tem mudado a perspectiva dos processos produtivos ao redor do mundo, assim como fizeram as revoluções antes dele, como a primeira revolução industrial, com o começo da utilização de máquinas de vapor. A segunda revolução industrial foi marcada pelo 'Fordismo' e pelo uso da energia elétrica e da produção em massa. A terceira, pela utilização da eletrônica e da tecnologia da informação.

Sendo ou não a manufatura avançada o princípio de uma nova revolução industrial, não se pode negar que a automação vem mudando o modo como bens são produzidos. Com a utilização das novas tecnologias, em esforço ilustrativo, linhas de montagem e produtos são capazes de se comunicar durante o processo de fabricação, e unidades logísticas trocam informações referentes a estoques e transporte.

Os avanços na computação e na comunicação estão tomando forma à luz da Internet das Coisas, tecnologia Máquina-a-Máquina (M2M), Indústria 4.0 e *cyber-physical systems* (CPS). O impacto na engenharia de tais sistemas é um novo

paradigma técnico baseado em conjuntos de sistemas de software embarcados (MOSTERMAN et al, 2015).

O momento tecnológico da Manufatura Avançada é fruto de três aspectos: o avanço contínuo da capacidade dos computadores e das interfaces *software*-usuário, da digitalização da informação (desde a concepção dos produtos, passando por testes com materiais, protótipos e leiautes, até a organização da linha de produção e dos respectivos estoques fabris) e das novas estratégias de inovação, alavancadas pela integração dessas tecnologias citadas acima com as tecnologias mecânicas e eletrônicas (FEIMEC, 2016).

Apesar do berço da Indústria 4.0 ser a Alemanha, diversos outros países já reservaram espaços para discussão do tema em suas agendas de desenvolvimento, como Estados Unidos, China, Japão e Coreia do Sul. O Fórum Econômico Mundial, realizado em Davos, Suíça, em janeiro de 2016 destacou o potencial da quarta revolução industrial e suas consequências, assim como sua implementação e segmentos beneficiados. Acredita-se que nos próximos anos haja um aumento considerável na demanda por modernização tecnológica em todo o planeta, bem como um aumento também na demanda por profissionais capacitados para trabalhar com esses conceitos. Por essas razões, é preciso estar preparado para o avanço tecnológico da indústria nos próximos anos e para enfrentar suas consequências.

## 1.1 TEMA

A indústria 4.0 tem um enorme potencial para evolução do parque industrial instalado desde o aspecto produtivo à conexão da cadeia logística. A possibilidade de transformar sistemas industriais em *cyber-physical systems (CPS)*, (do português, sistemas físicos cibernéticos) transformará toda a cadeia de trabalho e de serviços de uma indústria de maneira definitiva. Sistemas totalmente conectados entre *software* e *hardware*, com sensores se comunicando em tempo real com cópias virtuais das máquinas físicas, e estas cópias virtuais podendo armazenar grande quantidade de informação representa uma tendência industrial. Será possível também prever falhas e otimizar processos, garantindo que o futuro da manufatura será disruptivo, e

transformando toda a cadeia de trabalho e de serviços de uma indústria de maneira definitiva.

Desde que o governo federal alemão anunciou a Indústria 4.0 como uma das principais iniciativas de sua estratégia de alta tecnologia em 2011, inúmeras publicações acadêmicas, artigos práticos e conferências têm se concentrado nesse tópico (HERMANN et al, 2016).

Segundo estudos publicados em formato de artigos e relatórios, organizados através de revisão sistemática da literatura por grupo de pesquisa coordenado pelo professor orientador, o grande desafio dos próximos anos será encontrar uma padronização para o crescente conceito de indústria 4.0. Esta perspectiva é fortemente sinalizada pela Academia Alemã de Ciência e Tecnologia, considerada precursora da manufatura avançada. Atualmente é ainda pequena a quantidade de material disponível que tenta delimitar este conceito a fim de auxiliar empresas quanto aos próximos passos práticos de evolução industrial. Como mencionado anteriormente, é de grande importância que estudos nesta área possam recomendar a essas empresas algum tipo de implementação estratégica baseando-se nos conceitos da nova revolução industrial.

Surge então a necessidade de auxiliar as empresas a reconhecerem o nível tecnológico em que se encontram seus ambientes fabris para que seja possível diagnosticar o potencial já existente com a tecnologia atual para migração para este novo modelo de indústria. É importante também que seja feito, com base nesta análise diagnóstica, o reconhecimento para avaliar, dentro da planta, o atendimento atual dos requisitos da Indústria 4.0.

Desta necessidade, surge a demanda de métodos adequados para avaliação das diferentes capacidades (aderência de diversas partes de um processo ao todo) industriais no suporte da análise diagnóstica realizada sob diferentes perspectivas e pilares da Indústria 4.0.

### 1.1.1 Delimitação do Tema

Em vista a dificuldade de estruturar e entender a Indústria 4.0, este estudo foi direcionado para desenvolver uma ferramenta que pudesse ser utilizada em uma empresa ou entidade industrial (indústria, setor, fábrica, ambiente industrial).

Para uma base teórica sólida, foi utilizado o modelo referencial apresentado no documento gerado pela Capgemini Consulting (divisão global de consultoria em estratégia e transformação, líder em consultoria digital). Este documento foi criado a partir de estudos da consultoria acerca da Indústria 4.0, “Industry 4.0 – The Capgemini Consulting View”. O estudo apresenta uma visão de Indústria 4.0 exposta em quatro pilares principais, *Smart Solutions*, *Smart Innovations*, *Smart Supply Chains* e *Smart Factory*, bases para direcionar modelos de indústria altamente tecnológica e automatizada.

Com a base teórica principal especificada, será desenvolvido um aplicativo para plataforma Android, com o objetivo de ser utilizado na indústria como ferramenta de análise, gerando resultados sobre o seu nível tecnológico e provendo dados sobre crescimento e eficiência dentro dessa empresa. Tal aplicativo foi criado pensando em um manuseio intuitivo, para ser utilizado em *tablets/ smartphones*.

Além da base teórica da consultoria Capgemini, será implementado dentro do aplicativo o método de avaliação multicritério AHP (Analytic Hierarchy Process), (Saaty, 1980), o qual auxilia a tomada de decisões e análises em espaço de avaliação complexos. Este método explica a dinâmica da utilização do aplicativo, pois de acordo com a tomada de decisão provida, sob a ótica do posicionamento em níveis de capacidade e maturidade, gestores de setores específicos desta empresa saberão quais recursos estão sendo melhor utilizados e onde novos recursos e decisões devem ser aplicados para otimizar a empresa como um todo.

## 1.2 PROBLEMA E PREMISAS

A indústria mundial passa por um longo processo de aprimoramento. Diante de um mundo cada vez mais tecnológico, integrado e conectado, é de extrema importância que o desenvolvimento de novas tecnologias passe também pelo



ambiente de produção para que tenhamos processos cada vez mais confiáveis e rápidos. As novas tecnologias já permitem a interoperabilidade dentro da indústria, porém, o processo de atualização na indústria brasileira pode muitas vezes ser muito lento e confuso (FEIMEC, 2016).

Lançado no Fórum Econômico Mundial de Davos, um relatório chamado “Who will be the regional winners and losers” menciona quem serão os países que melhor aproveitarão o desenvolvimento da manufatura avançada. Surpreendentemente, o Brasil é o antepenúltimo colocado no ranking sul-americano, na frente apenas de Peru e Argentina. O Chile lidera a lista (FEIMEC, 2016).

Para continuar competitiva frente ao mercado internacional, faz-se necessário um grande avanço tecnológico na atual conjuntura tecnológico-industrial brasileira. Segundo relatório da FEIMEC, a idade média do universo de máquinas brasileiro é de 17 anos, contra apenas 7 ou 8 dos países desenvolvidos. Além disso, países desenvolvidos como Japão e Suécia estão na “Indústria 3.0” há aproximadamente 50 anos, enquanto a indústria brasileira parece resistir a se adequar a essas tecnologias em sua totalidade.

É de grande importância a disseminação do conhecimento de tecnologias de ponta para que a indústria brasileira continue competitiva.

### 1.3 OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é oferecer um sistema de suporte ao diagnóstico organizacional sobre a realidade instalada e o potencial da empresa no atendimento dos requisitos da Indústria 4.0. Tal diagnóstico visa facilitar o plano estratégico destas empresas no planejamento de evolução de sua capacidade instalada no aprimoramento de seus processos produtivos.

A avaliação é respaldada em diferentes critérios de avaliação definidos à luz do referencial Capgemini anteriormente citado, colocados à apreciação de especialistas (avaliadores) que serão conduzidos por etapas procedurais inerentes ao método AHP. O processo de avaliação permitirá quantificar os diferentes níveis de capacidade da empresa e seu potencial ou maturidade para adoção das recomendações da Indústria 4.0. A propriedade de avaliação com base no AHP

sustenta um conjunto de comparações entre tecnologias pré-estabelecidas no suporte a categorias de gestão – pilares da Indústria 4.0. As abordagens multicritérios são formas de modelar os processos de decisão que englobam a própria decisão, os eventos desconhecidos que podem afetar os resultados e os possíveis cursos de ação e os próprios resultados.

A tomada de decisão, deve buscar a opção que apresente o melhor resultado, a melhor avaliação, ou ainda, o melhor acordo entre as expectativas do “decisor” e as suas disponibilidades em adota-la (LOURES, 2015).

O sistema será baseado em um aplicativo compatível com plataforma Android, que será disponibilizado aos responsáveis indicados pela empresa por meio de um *tablet*. Basicamente, desempenhará um questionário em que o funcionário ou gestor ligado a planta industrial irá responder perguntas comparativas pertinentes sobre a percepção da base tecnológica atual. Ao fim do processo receberá um diagnóstico informando o nível de maturidade da indústria baseado nos pilares da indústria 4.0.

### 1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema que permita avaliar, baseado no método AHP, os diferentes níveis de capacidade e nível de maturidade de uma empresa fundamentando-se nos conceitos de indústria 4.0 à luz dos pilares preconizados pelo modelo Capgemini.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Levantar informações existentes sobre a quarta revolução industrial, seja metodologia ou experimentação;
- Identificar critérios de avaliação e organizar tais informações à luz de base referencial industrial (Capgemini)
- Com base nos critérios identificados, modelar o problema de avaliação com o AHP;
- Testar a estrutura AHP em software comercial (Super Decisions)

- Desenvolver a ferramenta de avaliação diagnóstica com base no AHP em linguagem C++ e por meio de software MIT App Inventor 2;
- Testar o sistema de avaliação com profissionais do setor Automotivo do estado do Paraná
- Apresentar os resultados diagnósticos (níveis de capacidade e maturidade) através de recursos gráficos estabelecidos em Excel.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

No ramo industrial, a manufatura avançada ou indústria 4.0 é tendência mundial. Cada vez mais, empresas e produtos vêm se preparando para serem multiconectados, multiprogramados e interoperáveis.

Com o mercado industrial evoluindo a passos largos, torna-se uma tarefa complicada a avaliação dos sistemas e processos que já possuímos e como isso pode ser utilizado para contribuir com as novas tecnologias que, inevitavelmente, terão de ser inseridas no contexto das empresas a fim destas continuarem a ser competitivas dentro do mercado.

A criação de uma ferramenta capaz de medir os diferentes níveis de capacidade e o nível de maturidade tecnológica dentro de empresas (usando os conceitos de Indústria 4.0) tem como objetivo apontar pontos fracos de tecnologia e melhor tomada de decisão na hora de evoluir processos e tecnologia para serem implementados, ou mais especificamente, servir como guia de melhorias na fábrica/cadeia produtiva. Tendo estes conceitos mirando o ápice de uma indústria de mais alto nível tecnológico e entendendo que nem sempre uma empresa terá recursos para chegar ao estado de 4.0, o real diferencial da ferramenta responde a seguinte pergunta: “Onde é melhor evoluir primeiro? ”.

Além disso, o sistema irá agregar conhecimento de forma única, tornando mais fácil e direto o acesso a informações pertinentes sobre a indústria 4.0 e sobre a própria empresa, em questão de nível de evolução tecnológica.

O principal fator motivador deste trabalho é transformar a metodologia científica que engloba os conceitos de indústria 4.0 em um sistema com utilização

prática para auxiliar pessoas e empresas a desenvolver e evoluir seus serviços de forma rápida e fácil.

## 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os estudos e a coleta de dados se darão conforme documentação indicada pelo orientador e discussão realizada nos encontros com o grupo de estudo de Indústria 4.0 vinculado ao grupo IAAS (Integração, Avaliação e Automação de Sistemas) alocado na Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), além de encontros com o orientador.

A estratégia de análise de dados e realização de testes foi definida da seguinte maneira:

- Análise dos artigos recomendados pelo orientador;
- Estruturação da proposta do sistema e coleta de dados conforme a estrutura definida;
- Estruturação e programação do método de tomada de decisões conforme necessário para o sistema;
- Imersão do conhecimento adquirido e do método de tomada de decisões dentro da plataforma a ser desenvolvida;
- Realização da obtenção de resultados e de testes associados ao cenário ou entidade industrial escolhida.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi dividido em 5 etapas principais: Base conceitual, metodologia, modelo de avaliação e estudo de caso. A estrutura teórica é definida como:

- Capítulo 1- Introdução: Delimita o tema do trabalho, as premissas e os problemas principais, o objetivo, as justificativas e a estrutura de desenvolvimento.
- Capítulo 2- Base Conceitual: Será apresentado o universo de pesquisa do problema, a delimitação bibliográfica e a coleta de dados necessários para que seja realizada a estruturação da solução.

- Capítulo 3- Metodologia: Os métodos necessários desenvolvidos para auxiliar a tomada de decisões, bem como as ferramentas necessárias para desenvolvimento prático da plataforma serão especificados neste capítulo.

- Capítulo 4- Modelo de Avaliação: Todo o trabalho de estruturação da solução será realizado neste capítulo. Será realizado o trabalho de estruturação dos níveis de capacidade e maturidade conforme método de tomada de decisão proposto, assim como conforme a análise do estágio de desenvolvimento baseando-se no conceito de manufatura avançada.

- Capítulo 5- Estudo de Caso: Avaliação da usabilidade do sistema e de sua aplicação prática.

- Capítulo 6- Conclusão: Apresentação dos resultados obtidos e dos testes realizados pelos profissionais representantes de entidades industriais, além da avaliação da relevância do trabalho.



## 2 BASE CONCEITUAL

Para a realização do presente estudo, fez-se necessária uma busca aprofundada na documentação existente sobre a padronização da indústria 4.0, ou seja, quais características tecnológicas existentes são parâmetro para classificar uma indústria como evoluída dentro destes padrões. Como esta classificação é extremamente recente (apresentada desta forma em 2011) é preciso investigar as relações mais a fundo, partindo de tecnologias anteriores que, quando reunidas, formam o conceito de indústria 4.0.

Como será abordado nos próximos capítulos, o relatório da Capgemini aponta sete tecnologias principais que definem o conceito de indústria 4.0. Para que seja possível a compreensão deste conceito, é de extrema importância que algumas definições anteriores a ele sejam também conhecidas. Este trabalho dará foco a três delas: *Cyber-physical systems (CPS)* (Acatech, 2011), *Machine-to-Machine (M2M)* (Gyrard, Bonnet e Boudaoud, 2014) e Internet das coisas (*IoT*) (Vermessan e Friess, 2014).

Feita a análise das tecnologias que antecedem o conceito, o próximo passo é conectá-las à indústria, focando nas vantagens práticas do uso destas, de forma a estabelecer uma base estrutural teórica que possa dar um sentido para a avaliação, partindo da atual conjuntura da indústria avaliada.

Para que a avaliação tenha embasamento científico, um método de tomada de decisão será utilizado na escolha das opções disponíveis. O funcionamento deste método é apresentado neste capítulo.

Por último, é importante frisar que ainda não existe um padrão unânime reconhecido desta tendência industrial. Estudos estão sendo feitos em várias partes do planeta e ainda existem muitas divergências em relação ao “estado da arte” da indústria 4.0. Aqui, serão apresentados os trabalhos mais reconhecidos e com maior índice de relevância prática encontrados.

## 2.1 INDÚSTRIA 4.0

A indústria está sempre passando por transformações que acompanham diretamente a evolução tecnológica da sociedade. Como especificado na Figura 1, três revoluções industriais já aconteceram ao longo da história, transformando completamente o modo como bens são produzidos. Segundo relatório apresentado pela Acatech em 2011 na feira de Hannover, o mundo está no limiar da quarta revolução industrial, conhecida no Brasil como Indústria 4.0 (FEIMEC, 2016) e também em outros países como manufatura avançada, manufatura inteligente, *smart factory* e *smart manufactory* (Acatech, 2013).

Mas qual será o avanço prático do modo como bens são produzidos e que tipo de tecnologia será implementada com esse avanço? Para responder esta questão, é necessário primeiramente revisar quais já foram os avanços que de certa forma causaram uma ruptura no modo de produção.

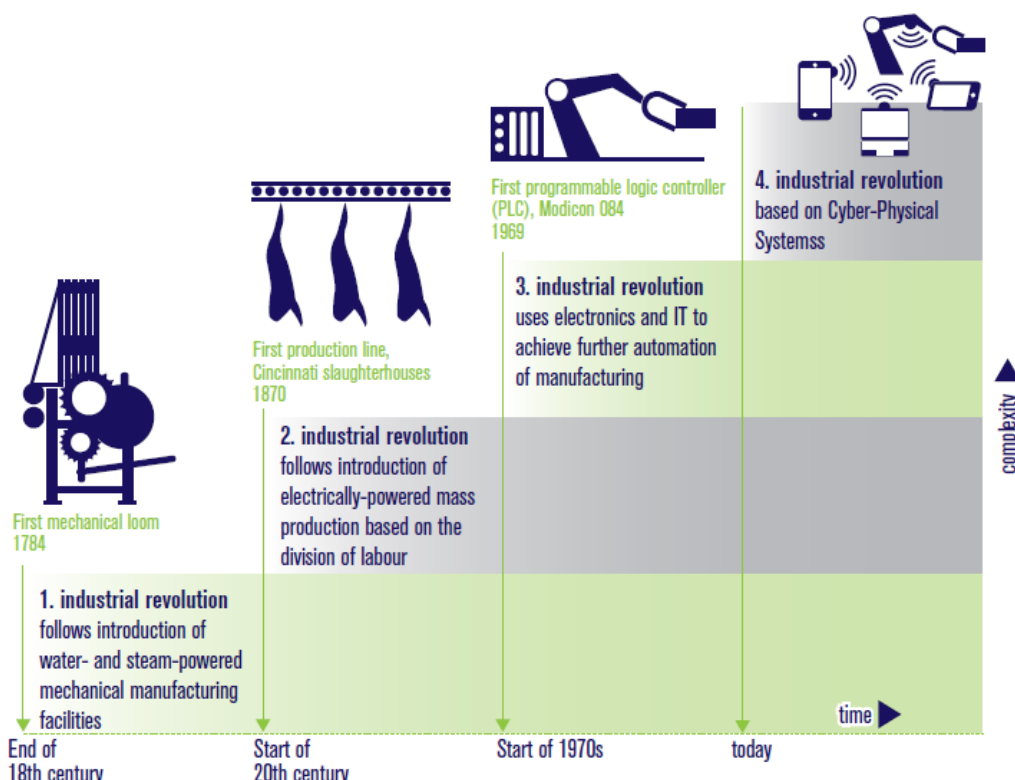
1- Revolução Industrial: Foi a revolução da mecanização, do começo da utilização de máquinas no ambiente fabril, marcada pelo exponencial aumento da eficiência. Ocorreu no fim do século 18.

2- Revolução Industrial: Revolução que levou a eletricidade à manufatura, possibilitando grandes avanços como, provavelmente o maior deles, o início da produção em massa. Ocorreu no começo do século 20.

3- Revolução Industrial: Marcada pela implementação da eletrônica e da tecnologia de informação, *softwares* e *hardwares*. Marcada pelo início do acompanhamento dos processos fabris, assim como do acompanhamento da produção, que possibilitaram uma melhor gestão de recursos e diminuiu o custo total de produção. Esta revolução começou nos anos 70 e perdura até os dias de hoje.

É importante salientar que, para que seja possível uma tranquila transição para a indústria 4.0, será necessário que uma indústria possua um nível tecnológico bem desenvolvido dentro dos parâmetros da terceira revolução industrial. Caso contrário, um avanço tecnológico ou, nas palavras de FEIMEC (2016) um “salto tecnológico”, deverá ser realizado, o que demandará um grande esforço.





**Figura 1 - Linha Histórica da Revolução Industrial**  
 Fonte: Acatech (2013).

A definição de indústria 4.0 surge da integração de vários conceitos tecnológicos. Estes conceitos nada mais são que bases tecnológicas que quando reunidas formam um novo modo de se produzir bens, muito mais rápido e confiável, que terão impacto direto não apenas em toda organização da empresa ou indústria, mas na sociedade como um todo.

Para mapear os pontos tecnológicos cruciais para este desenvolvimento, é necessário antes uma explanação de alguns pilares do conceito de indústria 4.0. O ponto mais crítico é a comunicação entre os equipamentos dentro da manufatura. A quarta revolução industrial formará uma rede virtual de informações com objetos físicos (Posada, Toro, Barandiaran, Oyarzun, Stricker e Amicis, 2015). No futuro, negócios irão criar redes globais de maquinário, que incorporarão sistemas de produção em massa no modelo de *cyber-physical systems (CPS)* (Acatech, 2013).

### 2.1.1 Conceito

Baseado em revisão da literatura, o conceito de indústria 4.0 pode ser definido como um termo coletivo para tecnologias e conceitos de uma cadeia de valor organizacional (Hermann, Pentek e Otto, 2015).

A indústria 4.0 criará fábricas com estrutura modular, *CPS* monitorando processos físicos com cópias virtuais para tomada de decisão descentralizada, comunicação e cooperação em tempo real via *IoT* com funcionários em qualquer parte do mundo e com outras empresas que façam parte da rede de fornecedores.

### 2.1.2 Machine-to-Machine (M2M)

O conceito de máquina-a-máquina (do inglês *Machine-to-machine* ou *M2M*) refere-se a tecnologias que permitem que sistemas se comuniquem com outros sistemas, ou máquinas se comuniquem com outras máquinas, em tempo real por meio de fios ou de redes sem fio. Para que isso aconteça, é necessário que ambos os sistemas possuam esta habilidade, além de um protocolo de comunicação que seja padrão entre estes dois sistemas (ou duas máquinas, equipamentos, etc). A tecnologia usa um dispositivo, como por exemplo um sensor, para capturar um evento que será posteriormente enviado através de uma rede para um *software*. O *software*, posteriormente, transforma este evento em informação útil, e retransmite esta informação para que possa ser utilizada como parâmetro para o funcionamento de outro sistema (desde que possuam o mesmo padrão ou linguagem).

A utilização da tecnologia *M2M* era restrita a poucas máquinas e equipamentos ponto-a-ponto industriais a alguns anos, e com a popularização da internet e de redes e protocolos de comunicação, foi possível elevar a tecnologia a um patamar muito mais avançado. No futuro, essa tecnologia será imprescindível no chão de fábrica, pois alterações nos sistemas de produção e tomada de decisão poderão ser realizados pelas próprias máquinas, dando mais qualidade, robustez e agilidade a todo o ambiente fabril. Este conceito será de extrema importância para a Indústria 4.0.

### 2.1.3 Internet das Coisas (IoT)

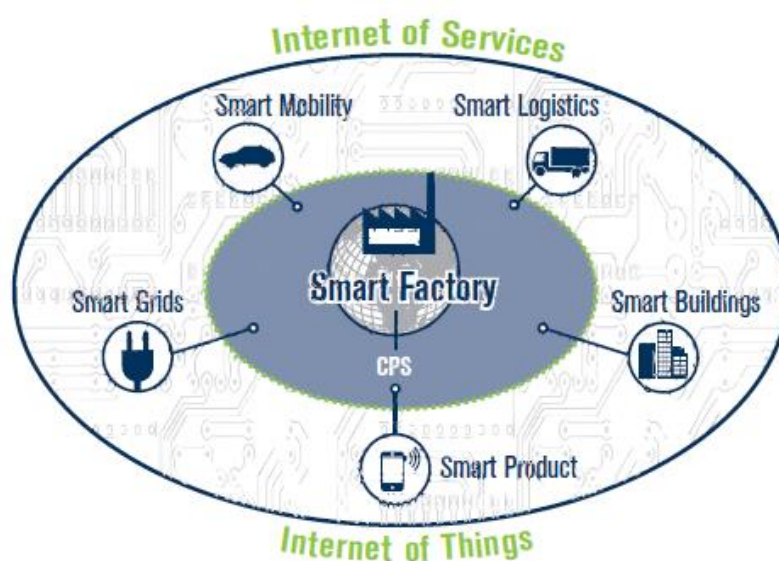
A integração da internet das coisas (*IoT*) e da internet dos serviços (*IoS*) no processo manufatureiro foi o evento que iniciou a quarta revolução industrial (Kagermann et al, 2013). A internet das coisas permite que objetos como sensores, atuadores, *smartphones* e outros aparelhos se comuniquem e interajam entre si e entre uma “vizinhança” de aparelhos inteligentes para atingir uma meta comum (Giusto, Lera, Morabito e Atzori, 2010). Os aparelhos que se comunicam podem ser entendidos como *cyber-physical systems* e, sendo assim, a *IoT* pode ser entendida como uma rede de cooperação entre *CPS*.

Dentro da definição de internet das coisas, é importante também conhecer a definição de internet dos serviços (*IoS*) que é, como o próprio nome sugere, prestação de serviços oferecidos via internet. Consiste basicamente de uma infraestrutura de serviços e modelos de negócios reunidos e combinados entre vários fornecedores, em vários canais, a serem acessados pelo consumidor final (Buxmann, Hess e Ruggaber, 2009). Este conceito é de extrema importância porque no futuro unidades fabris estarão sempre conectadas com suas cadeias de fornecedores, criando uma espécie de rede de fornecimento inteligente. Além disso, vai permitir que as fábricas do futuro sejam mais modulares, flexíveis e expansíveis, transformando o modo como bens são produzidos. A fábrica saberá qual a configuração específica desejada pelo cliente e poderá decidir de forma automática quais serviços são necessários. Sendo assim, poderá montar individualmente o processo requerido por meio da *IoS* e autonomamente navegar pela produção (Fraunhofer, 2014).

### 2.1.4 Cyber-physical systems (*CPS*)

Segundo Acatech (2011) hoje em dia mais de 98% dos microprocessadores existentes são conectados com o mundo real a partir de sensores e atuadores. Esse número está em constante expansão e, mais importante, está se expandindo rapidamente com a ajuda da internet. Conectando cada vez mais sensores uns com os outros e deixando cada vez mais máquinas trocarem informações por meio da rede está transformando o modo como os equipamentos operam como nunca antes, pois

o mundo físico e o mundo virtual (ou ciberespaço) estão se fundindo. No futuro, produtos, objetos e equipamentos serão capazes de processar, com a ajuda de sensores, informações do mundo físico e transportar estas informações aos serviços baseados na internet. Estes *cyber-physical systems* (CPS) irão conectar o mundo físico do hardware com uma espécie de “Gêmeo virtual” formatado em software para assim criar o que é conhecido como Internet das Coisas (IoT), como na Figura 2.



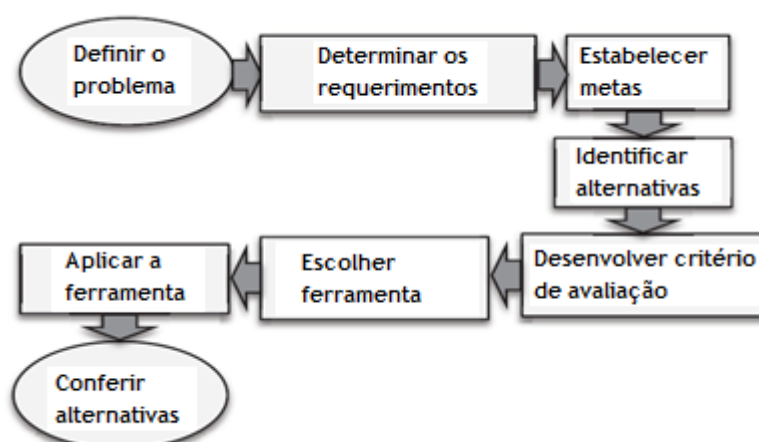
**Figura 2 - Cyber-physical system**  
**Fonte: Bosch Software Innovations (2012).**

*Cyber-physical system* ou *CPS* já estão em uso no mundo todo e já não são mais considerados novidade em algumas áreas (por exemplo, sistemas de posicionamento global- GPS) porém, a ideia de transformar máquinas, uma linha de produção ou até mesmo toda uma manufatura em um *CPS* é particularmente nova e é crucial para o desenvolvimento do conceito da Indústria 4.0. Segundo Acatech (2011) os *CPS* são “capacitadores tecnológicos” - auxiliam na criação de inúmeros tipos de inovação e aplicações, contribuindo para a resolução de problemas que vão muito além da indústria, entrando no âmbito social, como saúde, segurança, fontes de energia, cidades inteligentes, sustentabilidade e muito mais.

## 2.2 MCDM

Os métodos multicritério de tomada de decisão (MMTD) ou do inglês *Multi-criteria Decision Making/Analysis* (MCDM/A), representam um meio de análise explícita que avalia múltiplas concorrências entre critérios para o auxílio de tomada de decisão ou avaliação. Estruturar problemas complexos de maneira eficiente e considerando múltiplos critérios organizados segundo estruturas de categorização nos leva a uma melhor tomada de decisão.

Em termos genéricos um processo de tomada de decisão comum segue oito passos, que estão representados na Figura 3. Para se alcançar o objetivo, escolher o método de tomada de decisão apropriado que se encaixa com o tipo do problema é o primeiro passo para o processo de tomada de decisão. Para se selecionar o melhor método, os métodos disponíveis devem ser comparados para que se possa ter uma noção de prós e contras entre eles em termos da modelagem do espaço problema de decisão e avaliação. Em um segundo passo, os requerimentos de uma decisão devem ser definidos baseados no julgamento de *experts* da área selecionada. No terceiro passo, o objetivo deve ser esclarecido e a parte mais importante é que o objetivo deve ser considerado segundo sua visão de otimização (por exemplo, a linha de produção deve produzir sete unidades por hora e não produzir menos de sete unidades por hora). O quarto passo é definir alternativas. Alternativas são os meios que mudam as condições preliminares em condições preferenciais (Sabaei, 2015).



**Figura 3 - Processo de tomada de decisão genérico.**  
Fonte: Sabaei (2015).

O uso de métodos multicritério de tomada de decisão é extremamente importante neste trabalho, pois se mostrou necessário explicitar comparações acerca de tecnologias que promovem e/ou habilitam a evolução da fábrica (ou processo de produção) de forma tácita, ou seja, aonde fosse possível quantificar níveis tecnológicos de forma a decidir o posicionamento no nível de capacidade ou maturidade, ou ainda dar um visão de importância e ordenação.

Um exemplo disso são quatro das tecnologias existentes no espectro abordado pelo trabalho. Para avaliar o nível de *Smart Service* na fábrica, aonde estejam implantadas as tecnologias *Mobile*, *Cloud*, *Machine-to-machine* e *Advanced Analytics*, o operador do aplicativo decidirá (aplicando os conhecimentos dele em relação ao setor avaliado) entre essas tecnologias, qual está mais implantada (bem estruturada, ou mais acessível) na fábrica.

Para o exemplo dado, o simples fato de se relacionar quatro critérios, que no caso são as quatro tecnologias, pode ser ainda muito vago para se obter uma resposta quantitativa e expressiva. Portanto, dentre muitos modelos existentes de *MCDM*, optou-se pela utilização do AHP "*Analytic Hierarchy Process*" (Saaty, 1970), devido a sua fácil implementação, o que também ajudou na simplificação da experiência do usuário (*expert* avaliador ou decisor) ao se utilizar o aplicativo.

### 2.2.1 Método AHP

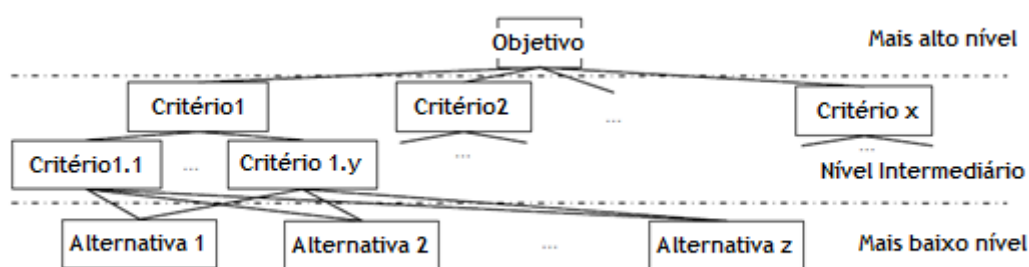
Pode se dizer que o AHP é um dos mais conhecidos e utilizados modelos na esfera de *MCDM*, não apenas pela facilidade de uso, mas também pelo poder de avaliação qualitativa oriunda de conhecimento tácito e a quantificação da incerteza associada a este tipo de conhecimento. O *Analytic Hierarchy Process* é uma aproximação para métodos de tomada de decisão em que fatores são ordenados de forma estrutural hierárquica e os princípios e a filosofia da abordagem avaliativa fornecem informações gerais do tipo de medida utilizada, suas propriedades e aplicações (Saaty, 1990). Com abordagem matemática e respaldada nos princípios da psicologia cognitiva, ele foi desenvolvido em meados de 1970 pelo Professor Thomas Saaty, em Wharton, Universidade da Pensilvânia.

Matemático estado-unidense, Thomas Saaty é professor da Universidade de Pittsburgh, onde leciona na Escola Katz de Administração de Empresas, eleito membro da Real Academia de Ciências Exactas, Físicas y Naturales em 1971, e da Academia Nacional de Engenharia dos Estados Unidos em 2005. Em 73 recebeu o Prêmio Lester Ford da Mathematical Association of America. Em 2000, recebeu a medalha de ouro da International Society on Multi-criteria Decision Making.

No método AHP, após a modelagem do problema e da construção da hierarquia, os responsáveis pela decisão devem avaliar sistematicamente cada um de seus vários elementos, comparando todos, dois a dois. Ao fazer as comparações, os responsáveis pela decisão estarão usando seu próprio julgamento sobre o significado relativo ou a devida importância do elemento, por isso, é extremamente importante que o indivíduo tenha um bom conhecimento sobre a avaliação (Yongxin, 2014). Para apresentar a aplicação do método AHP, é necessário dividi-lo em cinco passos:

1- Definir a área do problema e determinar seu objetivo (nível superior) da tomada de decisão;

2- Selecionar uma série de critérios avaliativos (nível intermediário) e uma série de alternativas (nível mais baixo) para estruturar a hierarquia de decisão. Pode se ter como exemplo a hierarquia da Figura 4:



**Figura 4 - Arquitetura AHP, exemplo de Hierarquia de Decisão**  
 Fonte: Yongxin Liao (2014).

3- Gerar matrizes de comparações em pares, os quais, cada termo da matriz receberá um peso em relação a outro termo. Estes pesos, são valores numéricos, que comparam o critério 1.1 com critério 1.y por exemplo. Os pesos, ou priorizações, são atingidos fazendo-se a seguinte pergunta: “Entre o critério 1.1 e 1.y, qual dos dois é mais relevante em uma escala de um a nove? ”. Vale lembrar que se o critério 1.1 é

por exemplo, seis vezes mais importante que o critério 1.y, de maneira análoga, este segundo critério é 1/6 vezes importante com relação ao primeiro. Na Figura 5, pode se ter noção de um modelo de matriz com relação termo/peso.

$$\begin{array}{c}
 \text{term}_1 \dots \text{term}_n \\
 \text{term}_1 \begin{bmatrix} w_{11} & \dots & w_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \text{term}_n \begin{bmatrix} w_{n1} & \dots & w_{nn} \end{bmatrix}
 \end{array}$$

**Figura 5 - Exemplo de matriz de comparação.**  
**Fonte: Yongxin Liao (2014).**

4- Calcular a prioridade global de cada critério no seu nível hierárquico correspondente e usá-los para quantificar a prioridade final de cada alternativa. Para se calcular a prioridade de cada termo da matriz, usam-se cinco sub passos:

- Primeiro soma-se os pesos em cada coluna da matriz, sendo  $c_i$  o valor do somatório da coluna i, onde  $i=1, \dots, n$ . Com isso  $c_i = \sum_{x=1}^n w_{xi}$ ;

- No segundo passo, divide-se o peso de cada par de comparação pelo valor da soma de sua coluna. Sendo  $q_{ij}$  o cociente na linha j e na coluna i da matriz, onde  $i=1, \dots, n$  e  $j=1, \dots, n$ . Com isso  $q_{ij} = w_{xi}/c_i$ ;

- Terceiro passo é calcular os valores máximos em cada linha para se obter a prioridade dos termos daquela linha. Sendo  $p_y$  a prioridade do termo y, onde  $y=1, \dots, n$ , então  $p_y = 1/n(\sum_{z=1}^n q_{yz})$ ;

- No quarto passo, a prioridade global de um determinado critério é obtida a partir da sua prioridade na matriz, multiplicada pela prioridade global do termo no nível superior da matriz respectiva;

- No quinto passo, a prioridade final de uma determinada alternativa é a soma de todas as prioridades das matrizes relacionadas multiplicada pela prioridade global de um critério correspondente.

5- Avaliar a consistência de cada prioridade. Este processo de checagem pode ser decomposto em três sub passos:

- Calculando o autovalor da matriz. Sendo  $\lambda_{max}$  autovalor, portanto  $\lambda_{max} = \sum_{z=1}^n c_z * p_z$ ;

- Calculando o Índice de Consistência (CI) da matriz. Sendo  $CI = \frac{\lambda_{max}-n}{n-1}$ ;



- Calculando a Razão de Consistência (CR) da matriz, baseada na tabela *Random Consistency Index* (Saaty, 1970), ou *RI*, como mostrado na Tabela 1. Se  $CR < 10\%$ , essas comparações são consistentes e aceitáveis.  $CR = CI/RI$ .

**Tabela 1 - Parte dos valores de consistência randômicos**

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Fonte: Saaty (1977).

Este desenvolvimento AHP ajuda a entender melhor a razão do método ter sido utilizado na problemática do projeto. Como seria possível avaliar, o nível de *Mobile, Cloud, Machine-to-machine e Advanced Analytics*, em valores explícitos (quantitativos), sem uma métrica numérica? A resposta encontrada foi justamente essa comparação entre qual está sendo melhor implantada dentro da indústria avaliada.

### 2.2.2 Modelagem Ambiente Super Decisions

Apesar de problemas complexos apresentarem várias soluções, restrições e maneiras de serem abordados, há também muitas técnicas, métodos e abordagens propostas por profissionais que podem ser implementadas para ajudar no processo de tomada de decisão (Elena, 2011). Utilizar e testar o modelo referencial preconizado pela consultoria Capgemini para a modelagem do AHP (Analytic Hierarchy Process) foi possível com o auxílio de uma ferramenta criada especialmente para a construção de modelos AHP, chamada Super Decisions.

Esta ferramenta mostrou-se essencial à etapa de testes do método (que servirá como referência e validação dos resultados obtidos pelo aplicativo) permitindo o desenvolvimento dos níveis hierárquicos inerentes ao método AHP. Tais níveis, conforme variam para baixo, vão tomando uma forma mais granular no escopo do problema - tendo como objetivo a Indústria 4.0, passando pelos pilares da indústria, até chegar nos habilitadores tecnológicos, necessários para que uma indústria possa ser graduada como 4.0.

### 3 BASES CONCEITUAIS E TECNOLÓGICAS ADOTADAS

Para o desenvolvimento do projeto fez-se necessário estudos e pesquisas sobre a Indústria 4.0. Assim, fez-se uso de uma base bibliográfica extensa resultante dos estudos já iniciados pelo grupo de pesquisa em Indústria 4.0 do IAAS (Integração, Automação e Avaliação de Sistemas) da PUCR. Além do professor orientador (coordenador), integram o grupo o pesquisador visitante Dr. Yongxin Liao, o Prof. Fernando Deschamps, dois mestrandos e alunos de graduação. Devido a uma grande quantidade de material recolhido (mais de setecentos *papers* referentes a Indústria 4.0), foi possível canalizar os esforços em filtrar apenas os documentos mais relevantes para o estudo deste projeto, como mostrado na Figura 6.

O ambiente colaborativo criado permitiu uma grande realimentação dos elementos propostos no presente trabalho, assim como base para os direcionamentos das propostas de mestrado e estratégias de interface com as entidades industriais. Neste sentido, validou-se como documento principal de estudos o referencial “Industry 4.0 - The Capgemini Consulting View” para a criação de um modelo genérico de estrutura da manufatura avançada, explicado mais à frente este capítulo.

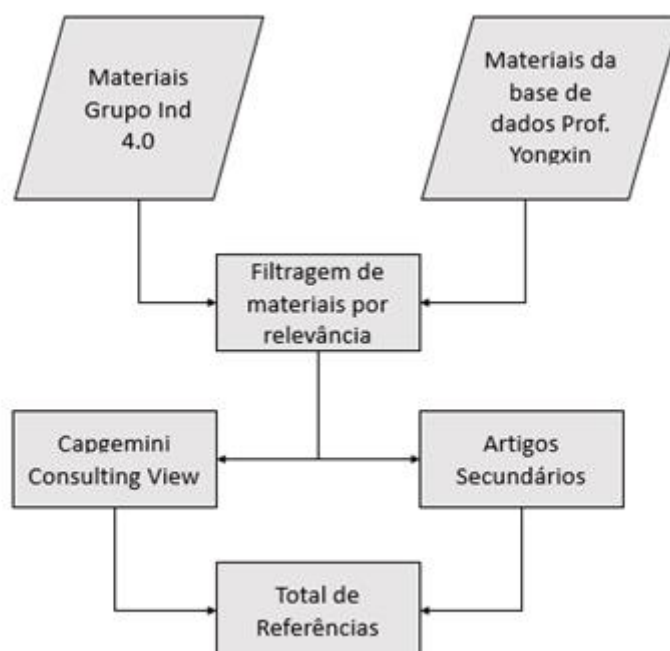


Figura 6 - Fluxograma da organização das bases referenciais  
Fonte: Autoria Própria.

### 3.1 BASE CONCEITUAL REFERENCIAL

Para que seja possível consolidar o propósito deste trabalho, foi dedicado um espaço para explicar a junção dos conhecimentos expressos até agora. Usando as informações de vanguarda (industrial e científica) que podem ser encontradas na bibliografia atual, foram separados os documentos mais relevantes que apresentam modelos e interpretações deste novo conceito, que já pode ser visto como uma realidade presente e futura, que é a indústria 4.0.

Cerca de 50% das empresas Alemãs planejam sua rede de colaboração industrial na temática e 20% já estão envolvidas no conceito da Indústria 4.0. Essa indústria representa a manufatura inteligente sob os conceitos de rede, onde as máquinas e os produtos interagem uns com os outros sem interferência humana (Capgemini, 2014). A indústria 4.0 tem como base sistemas *CPS* (Cyber-Physical Systems) colaborativos e representam o futuro de redes de indústrias. Cadeia de fornecedores entre essas indústrias tem estruturas dinâmicas que evoluem com o tempo (Dmitry, 2014).

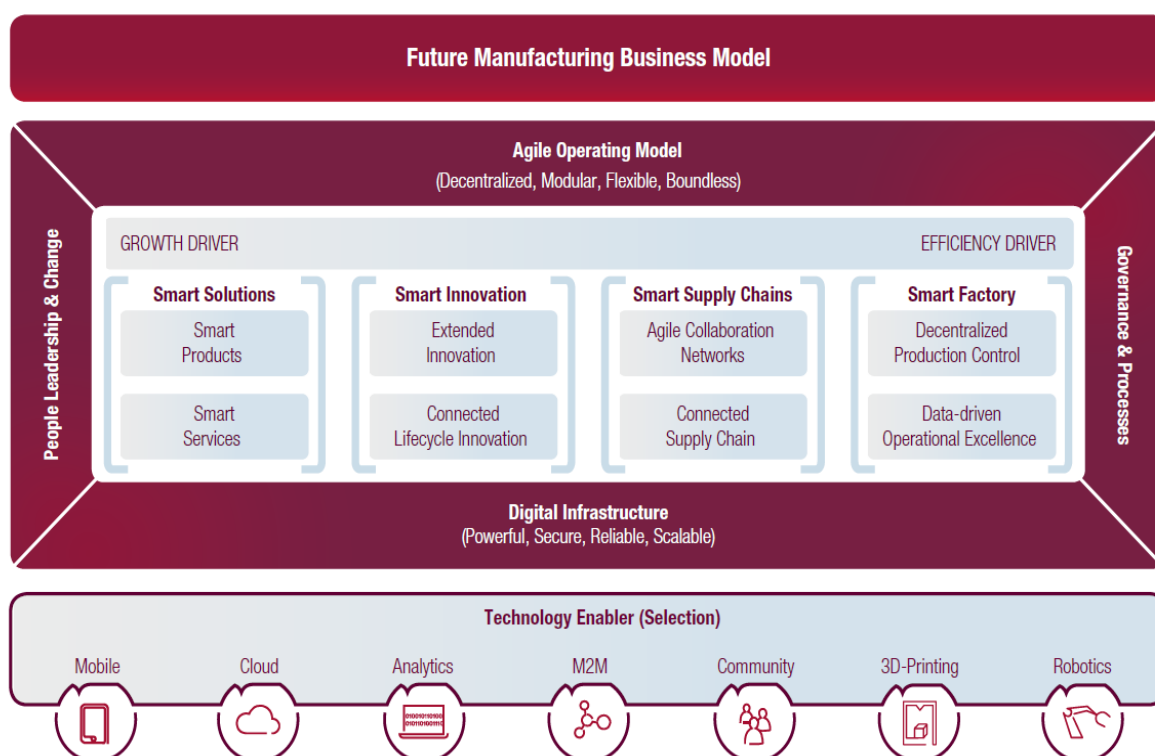
A promessa chave do conceito de Indústria 4.0 é caracterizar uma nova revolução industrial abastecida pelos avanços das tecnologias digitais. A fusão do mundo físico com o virtual em um *CPS* terá um impacto disruptivo em cada domínio de *business* das empresas. Três anos depois do advento da Indústria 4.0 como um conceito, é agora apresentada como uma verdadeira tendência entre essas empresas. Dificilmente alguma conferência, *think-thank* (organizações ou instituições que atuam no campo dos grupos de interesse, produzindo e difundindo conhecimento e ideologia, sobre assuntos estratégicos) ou exibição, escapam da atração gravitacional causada pela promessa de uma nova revolução industrial (Capgemini, 2014).

#### 3.1.1 Industry 4.0- The Capgemini Consulting View

Com quase cento e quarenta mil funcionários em mais de 40 países, no mundo a Capgemini é uma das maiores provedoras de consultoria, tecnologia e serviços terceirizados. A empresa desenvolveu seu próprio meio de trabalho, o *Collaborative Business Experience* (experiência em negócios colaborativos) e

desenhou o *Rightshore* (modelo de entrega global que ajuda a sua empresa a agregar valor usando recursos de forma mais eficiente), que é um modelo de entrega utilizado mundialmente (Capgemini, 2014).

O presente trabalho foi baseado nas premissas do documento “Industry 4.0-The Capgemini Consulting View”, que apresenta o framework relacionado a Indústria 4.0 indicado na Figura 7.



**Figura 7 - Framework da Indústria 4.0**  
Fonte: Capgemini (2014).

A ótica da indústria atual nos apresenta a pirâmide do sistema fabril (Figura 8) como sendo delimitada em níveis estratégico, tático e operacional. Isso pode ser relacionado com o *framework* proposto, pois na bibliografia utilizada, é possível validar que *Growth* e *Efficiency* são práticas que se delimitam no nível estratégico, bem como os quatro pilares da indústria: *Smart Solutions*, *Smart Innovation*, *Smart Supply Chain* e *Smart Factory* se delimitam ao nível mais tático; e os habilitadores tecnológicos: *Mobile*, *Cloud*, *Analytics*, *Machine-to-Machine*, *Community*, *3D-Printing* e *Robotics* podem ser representados no nível operacional.

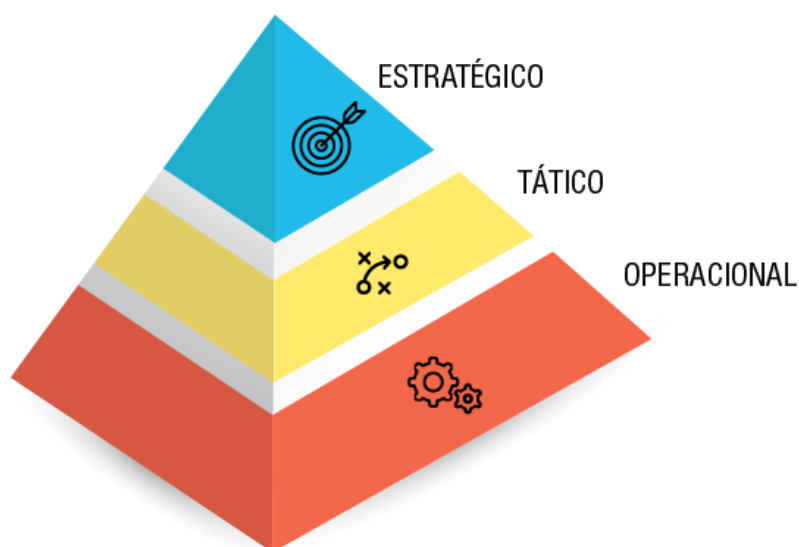


Figura 8 - Execução de processos

Fonte: <<http://www.blogdaqualidade.com.br/execucao-por-que-o-tatico-deve-ser-bilingue/>>

A estrutura do *framework* será detalhada em seguida, mas vale lembrar que o foco deste trabalho é o desenvolvimento de uma ferramenta que permita a indústria evoluir seu nível de maturidade extraindo dados do seu atual grau tecnológico que compreende o tático e operacional. Neste sentido, o *framework* atua como elemento referencial das dimensões de análise e avaliação consideradas pelo sistema concebido.

#### 3.1.1.1 Nível estratégico, *Growth & Efficiency*

Em vista de um aspecto mais estratégico dentro da indústria, o *framework* utilizado nos apresenta um eixo longitudinal, aonde pode ser compreendido uma tendência de crescimento versus eficiência.

O crescimento (*Growth*) basicamente nos é indicado como um fator que visa sumariamente o aumento de receita na empresa. Um fator diretamente ligado ao crescimento é chamado no modelo como *People Leadership & Change* e que basicamente explica a importância de treinamento de pessoal na parte de liderança de operações e a prática da empresa mudar constantemente, se aperfeiçoando.

De maneira análoga, a eficiência (*Efficiency*) nos aponta como fator principal a diminuição de gastos. O fator que está diretamente ligado a eficiência no modelo é

*Governance & Process* o que faz compreender o estabelecimento de políticas e o monitoramento contínuo de sua aplicação correta nos processos. Para tanto, a consultoria ainda nos apresenta fatores que em uma ótica estratégica nos possibilitam interagir diretamente com *Growth* e *Efficiency*, sendo eles:

- *Agile Operating Model*, que é compreendido como um fator que visa a descentralização das operações, a modularidade (facilidade de rearranjar operações) e a flexibilidade de operações;
- *Digital Infrastructure*, que é compreendido como um fator que visa expressar o potencial digital da fábrica, a sua segurança de processos bem como sua confiabilidade e escalabilidade, ou seja, sua infraestrutura digital.

Estes fatores estratégicos estão ligados diretamente não só com a fábrica, mas com todos os demais processos da empresa e serão responsáveis por direcionar o nível a baixo do processo industrial, que seria o nível tático.

#### 3.1.1.2 Nível tático, os quatro pilares

A nível tático, o modelo extraído da Industry 4.0- The Capgemini Consulting View, concentra a maior parte da sua teoria em explicar os quatro pilares que servem de base para a compreensão da Indústria 4.0:

1- *Smart Solutions* é compreendido como produtos inteligentes e serviços inteligentes. Este pilar da Indústria 4.0 é subdividido em dois, assim como os demais, explicados posteriormente.

*CPS* proveem novos benefícios e funções baseados em sua conectividade com a fábrica e o consumidor, são os ditos *Smart Products*, produtos que detêm um gêmeo virtual. A partir disso, é possível saber qual o seu lote, o seu número de identificação, se ele está terminado, se ele está atrasado, se precisa de retrabalho ou se pode ser descartado. Abrindo caminho para modelos de negócios e mercados de serviços de entrega inteiramente inovadores temos o *Smart Service*, que na ótica Capgemini nos apresenta um conceito de serviços que também utilizam as informações digitais da fábrica bem como do consumidor para promover serviços de ponta, mais relevantes, diferenciados e especializados.

2- *Smart Innovation*, na visão da Capgemini, implica no avanço de tecnologias que possibilitam a análise de dados de mercado, a inovação, a troca de informação com parceiros e com o mercado, assim como com fornecedores, e mostra-se como um diferencial que caracteriza uma empresa de manufatura avançada.

A divisão desse pilar é dada por *Extended Innovation*, que abrange a criação e distribuição de inovação além das fronteiras organizacionais da empresa, vinculando fontes de dados de empregados, consumidores, fornecedores e parceiros de pesquisa com publicações científicas, publicações de outras corporações, redes sociais e fóruns criando um ecossistema de soluções acessado pela empresa e por outros. Enquanto isso, *Connected Lifecycle Innovation* utiliza dados do ciclo de vida do produto como fonte para inovações, desde dados extraídos de seu planejamento, seu desenvolvimento, produção e uso.

3- *Smart Supply Chains*, são cadeias de fornecedores altamente integradas e automatizadas, que se fazem existir pelo uso de tecnologias digitais e *cyber-physical systems*.

Uma das duas vertentes desse pilar da Indústria 4.0 é a *Agile Collaboration Networks*, que descreve a movimentação horizontal integrada entre a extensão de uma empresa flexível, permitindo que fabricantes se concentrem em competências essenciais de produção, e ainda assim, que ela possa oferecer produtos customizados no mercado. É compreendida entre tecnologias colaborativas e portais virtuais de mercado com recursos de acesso global vinculados a seus parceiros de negócios; tudo isso, para que possa ser expandido seu portfólio de soluções para o consumidor. A outra vertente é a *Connected Supply Chains*, que é formada pela movimentação vertical (rede de fornecedores) da empresa, recriando fluxos de fornecimentos em um nível virtual, permitindo uma perfeita integração e automação de processos físicos e provendo um drástico aumento de transparência nas empresas.

4- *Smart Factory*, constitui o quarto pilar da visão de Indústria 4.0 segundo a Capgemini e é baseado em (CPPS), *Cyber Physical Production System* (do português, sistemas físicos cibernéticos de produção).

A primeira vertente desse pilar, *Decentralized Production Control*, aborda um controle de produção descentralizado, entre uma rede matricial de máquinas inteligentes que operam a um nível de auto-organização e otimização de processos. Em segundo plano, dado um grande fluxo de informação de dados referentes a

produção, é apresentado o conceito de *Data-driven Operational Excellence*, que explica a busca de excelência do processo produtivo de acordo com os dados fornecidos das máquinas inteligentes da fábrica, analisados por inteligências computacionais ininterruptas.

Os quatro pilares proporcionaram uma base abrangente e sólida acerca do conteúdo principal abordado neste trabalho, a indústria 4.0. Tendo essas noções de manufatura avançada explicitadas, o trabalho passou a focar esforços no que diz respeito a solucionar um problema encontrado em empresas/indústrias no país onde, como citado anteriormente, o processo fabril ainda é pouco evoluído.

### 3.1.1.3 Nível operacional, habilitadores tecnológicos

Para a compreensão final do modelo que serviu de base para este trabalho, a nível operacional, foram apresentadas tecnologias chamadas de *Technology Enablers*, e como o termo já indica, são os habilitadores tecnológicos que serviram como ferramentas capazes de indicar se uma empresa se adéqua aos quesitos de uma manufatura avançada.

A seguir serão explicados cada um dos habilitadores tecnológicos:

1- *Mobile* – Essa tecnologia inclui todos os métodos de comunicação wireless, seja esta comunicação via *smartphones*, Wi-Fi ou tecnologias similares. Até para o mais complexo mercado *B2B (business-to-business)*, ao comportamento de compra de um determinado consumidor, passando por processos de fábrica aonde a tecnologia *mobile* permite a conversação entre máquina inteligente e homem, no futuro da indústria a interconectividade e a interação digital se dará em meios explicitamente digitais, para tanto, a tecnologia *mobile* será o meio de interação principal;

2- *Cloud* – Para que toda a fábrica esteja interconectada, a tecnologia de *Cloud* (nuvens de redes digitais) será o mundo virtual dentro da empresa, no qual os dados vindos de máquinas, fornecedores, consumidores, *websites*, análises de mercado, respostas de sistemas autônomos e muitas outras tecnologias, estarão alocados e, sem esse meio virtual, a indústria 4.0 perderia um de seus significados



que é justamente essa virtualização. A tecnologia de *cloud* permite o fluxo de dados sem barreiras físicas;

3- *Advanced Analytics* – Com todos os dados vindos de muitas direções diferentes trafegando pela nuvem da fábrica do futuro, muitos processos em tempo real, muitas estatísticas de mercado, de produção e de máquinas autônomas, as tecnologias de análise de dados avançadas serão de suma importância para que seja possível a mineração desses dados, diferenciando apenas o que for relevante e o que promova um maior crescimento e eficiência da indústria;

4- *Machine-to-machine* – Também conhecida como tecnologia *M2M*, é tecnologia que implica a conversação entre máquinas, em uma indústria aonde o tempo de resposta é muito rápido. As tomadas de decisões devem ser igualmente rápidas e prevendo a eficiência de chão-de-fábrica, aonde máquinas sabem qual lote deve ser endereçado para qual carregamento. Esta tecnologia se refere a uma troca de informações automatizadas entre os *CPS* que constituem o ambiente produtivo da indústria do futuro. Pode ser considerada a tecnologia que integra a internet-das-coisas (*IoT*) e por sistemas embarcados de sensores e atuadores. Todo o chão de fábrica pode trocar informações valiosas, formando uma interface entre o mundo físico e virtual da fábrica.

5- *Community Platforms* – Plataformas comunitárias têm mudado a maneira como vivemos e no perfil de organização empresarial, no que diz respeito a uma comunicação de muitos para um. Estes portais (plataformas) não são apenas limitados a redes sociais, mas englobam ofertas sofisticadas a nível empresarial, como lojas virtuais, desenvolvendo uma interação dinâmica entre funcionários, colaboradores e clientes, alavancando o desenvolvimento da empresa;

6- *3D-Printing* – Assim como a nuvem, as indústrias têm percebido grande impacto com a tecnologia da impressão 3D. A também chamada ‘manufatura aditiva’ elimina desvantagens de se conceberem produtos individuais customizados, o que proporciona um diferencial significativo no mercado, mas tem muito impacto na eficiência. A prototipagem rápida juntamente com o processo de produção descentralizado gerado pela impressão 3D, aonde um modelo de desenho pode ser impresso em qualquer lugar do mundo enviando seu arquivo digital pela rede, elimina passos intermediários de manufatura tais como transporte e armazenamento, elevando drasticamente os níveis de eficiência dentro de uma empresa;

7- *Advanced Robotics* – Inovações tecnológicas tem substancialmente melhorado a robótica com o passar das décadas, tornando os robôs empregáveis em quase todos os setores. Especialmente sensores e visão de máquinas, juntamente com o desenvolvimento da inteligência artificial permitem que robôs cumpram seu papel na indústria, como unidades independentes de produção. Eles serão decisivos no processo de eficiência e na redução de complexidade de processos produtivos.

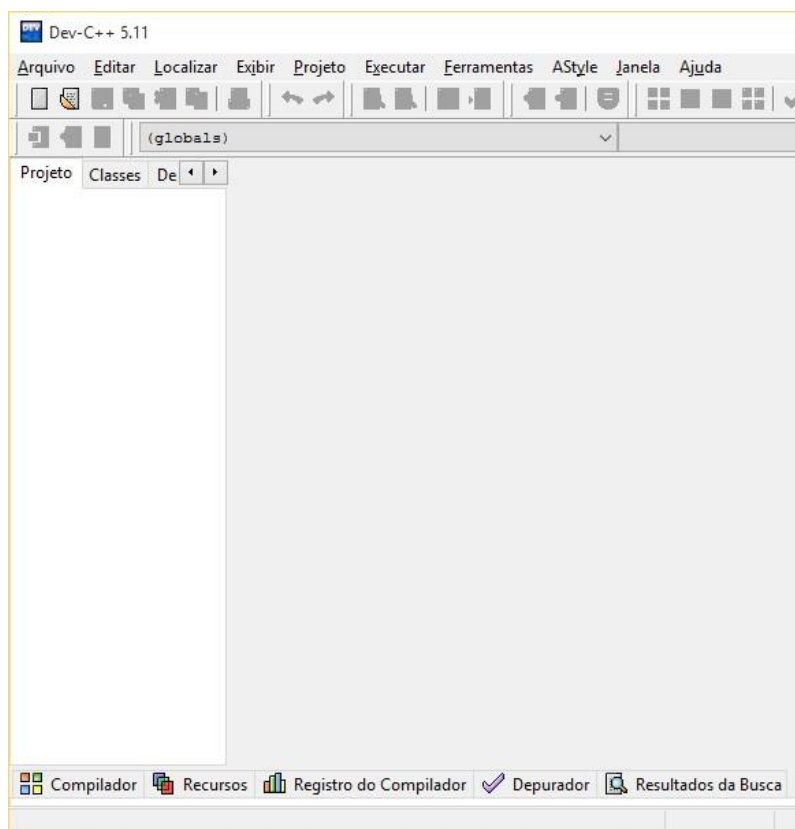
### 3.2 BASE FERRAMENTAL DE DESENVOLVIMENTO

As ferramentas de software são essenciais para o desenvolvimento prático da plataforma. Toda a programação foi desenvolvida dentro de *softwares* livres e sem restrição de uso, como especificados nesta seção. O banco de dados, onde informações pertinentes sobre os usuários da plataforma ficarão alocados, estará dentro da nuvem do próprio sistema de desenvolvimento, porém a informação final que interessa ao usuário será transferida a outro local dentro da nuvem, tratada em *software* de uso restrito e depois transferida novamente ao aplicativo. Outras plataformas, de uso livre ou restrito, também foram utilizadas para entregas de menor importância, como definição da identidade visual, criação de cronograma de trabalho dentre outras funções. Estas plataformas também serão especificadas nesta seção.

#### 3.2.1 Dev C++

O Dev-C++ (ou Dev-Cpp) é um ambiente de desenvolvimento integrado livre. Suporta linguagens de programação C e C++, e possui toda a biblioteca *ANSI* (biblioteca que relaciona funções, caracteres, sinais e etc). Compila programas para sistema operacional Microsoft Windows e é atualmente atualizado pelo desenvolvedor Orwell.

Neste projeto, o Dev-C++ é utilizado para a criação de um algoritmo genérico (que será apresentado no capítulo 4) que realizará o cálculo AHP. Um exemplo de ambiente Dev C++ é mostrado na Figura 9.

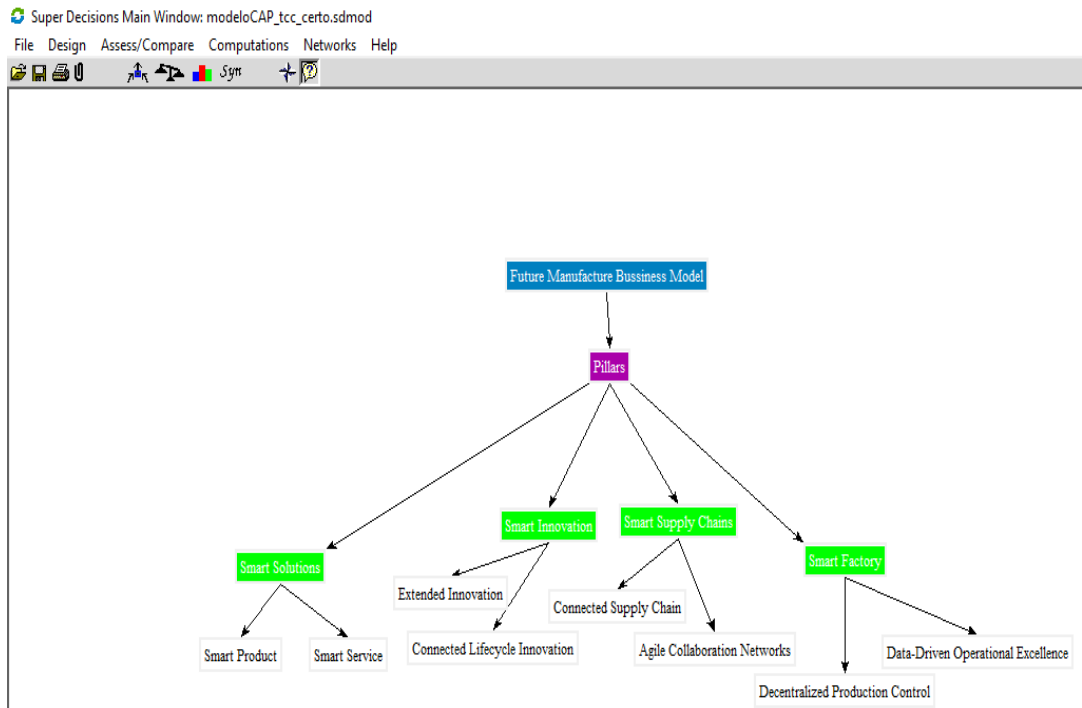


**Figura 9 - Exemplo ambiente DEV-C++**  
Fonte: <<http://orwelldevcpp.blogspot>>

### 3.2.2 Super Decisions

O *software* Super Decisions é um sistema criado pela Creative Decisions Foundation, fundação sem fins lucrativos mantida pelo grupo responsável pela manutenção do método ANP- ANP Team, e com *feedback* do Dr. Thomas Saaty, criador e idealizador do método AHP utilizado neste trabalho.

O sistema implementa o AHP e é usado para tomada de decisões com dependências e *feedback*. Ele utiliza um processo de priorização baseando-se em derivar prioridades e fazer julgamentos em pares de elementos, ou obtendo prioridades normalizando medidas diretas (Equipe ANP, 2013). Os elementos de decisão são agrupados em *clusters*, cada um contém alternativas e critérios, ou outros elementos de tomada de decisão. Os *clusters* são arranjados em redes com ligações entre todos os elementos. O AHP assume independência, seja entre o critério e as alternativas, ou entre o critério ou as alternativas. Modelos de estruturas AHP construídas em *software* Super Decisions são apresentados nas Figuras 10 e 11.



**Figura 10 - Modelo simples AHP em SuperDecisions**  
 Fonte: <<http://www.superdecisions.com/>>.

Alternative	Weight
1 Alterna~	0.16900
2 Custome~	0.18600
3 Marketi~	0.13900
4 Contemp~	0.10300
5 Public ~	0.16700
6 Traits	0.07400
7 Indirec~	0.16200

**Figura 11 - Janela de comparação par-a-par**  
 Fonte: <<http://www.superdecisions.com/>>

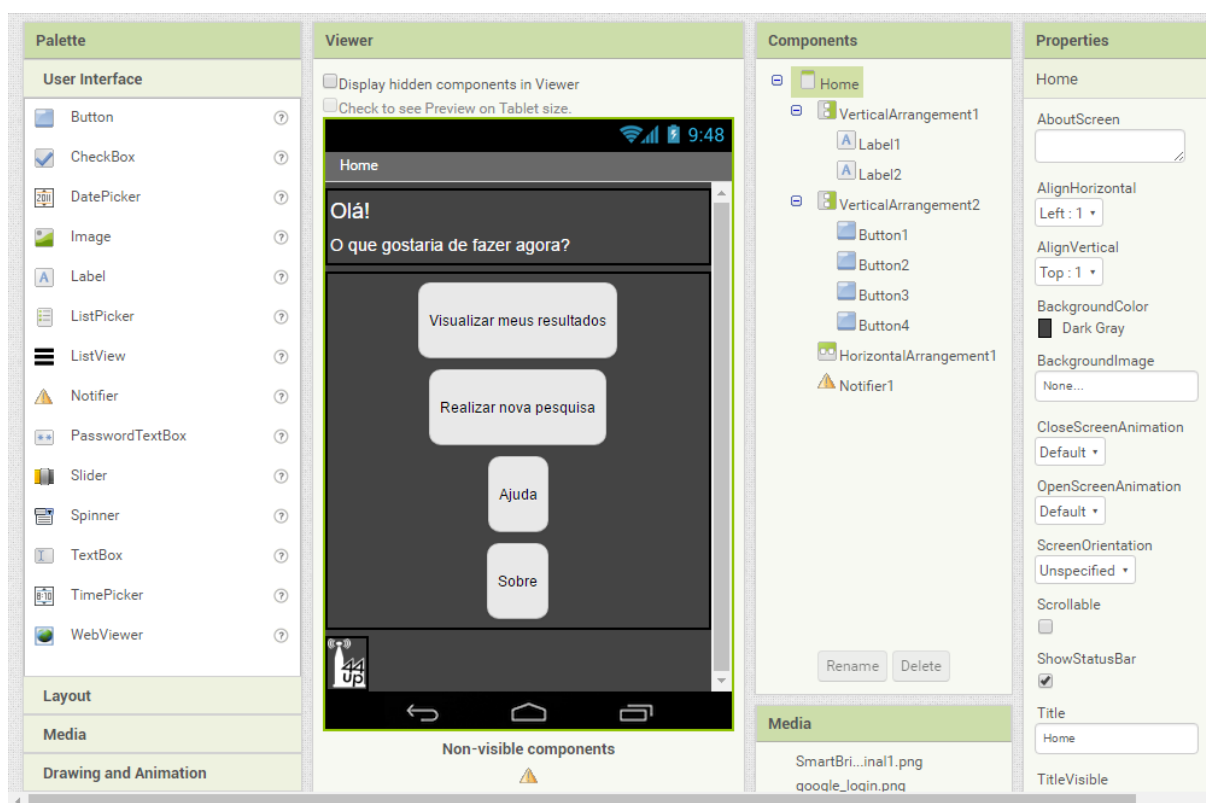
### 3.2.3 MIT App Inventor 2

O App Inventor é uma inovativa ferramenta online de programação e construção de aplicações, criado com o propósito de apresentar a programação a pessoas que não são programadores nem tem base teórica de algoritmos. Ele transforma a complexa linguagem de programação em formato textual em blocos de

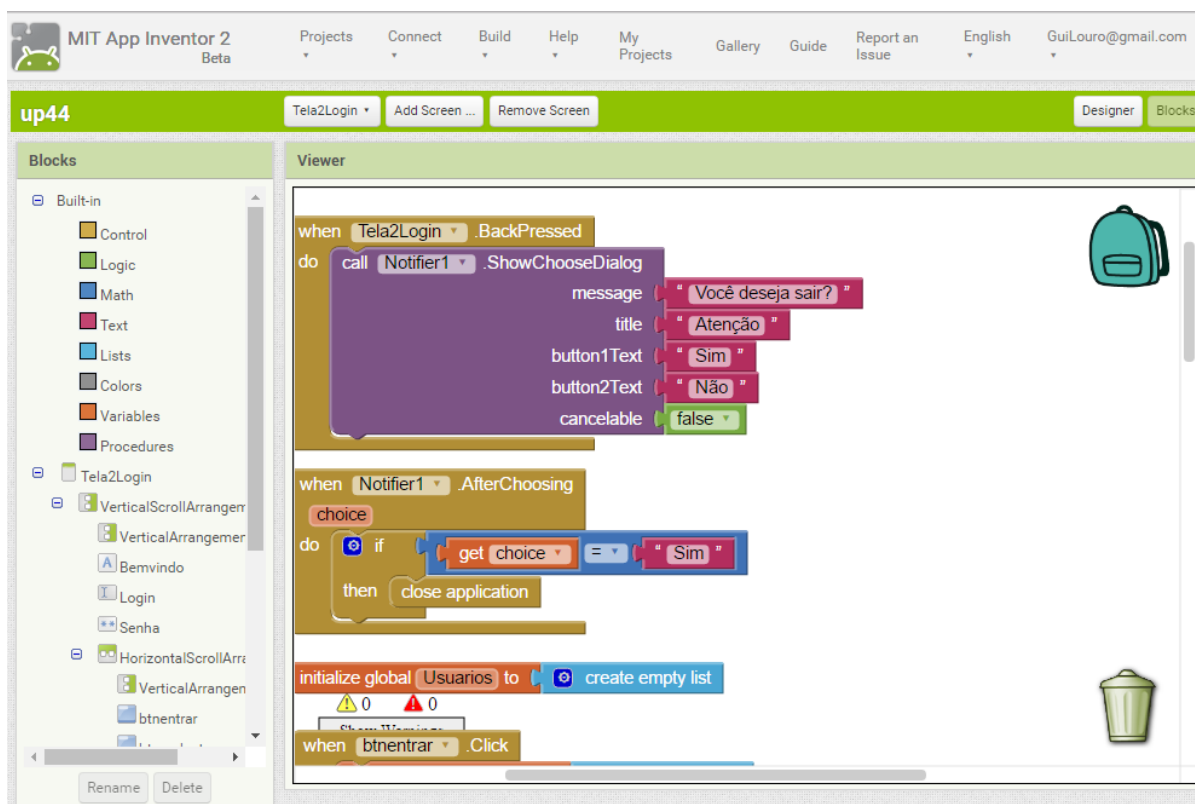
construção do tipo “arraste-e-solte”, em uma interface gráfica simples e intuitiva, visando democratizar o desenvolvimento de software.

A plataforma foi criada pelo engenheiro do Google Mark Friedman, e pelo professor do Massachusetts Institute of Technology (MIT), Hal Abelson, em 2009, e depois transferida para o MIT Center for Mobile Learning, onde é mantida até o dia de hoje. No final de 2013, foram lançadas as atualizações para o MIT App Inventor em sua segunda versão. Hoje, a plataforma conta com quase 3 milhões de usuários de 195 países diferentes e tem em seus servidores mais de 7 milhões de aplicativos construídos (The App Inventor Team, 2013).

Neste trabalho, o sistema do MIT é amplamente utilizado, como pode ser visto nas Figuras 12 e 13, pois toda a construção do aplicativo foi baseada nele, sendo que o banco de dados ainda está hospedado em seus servidores e possíveis atualizações também são planejadas a partir desta importante ferramenta.



**Figura 12 - Tela de desenvolvimento MIT App Inventor 2**  
Fonte: <ai2.appinventor.mit.edu/>

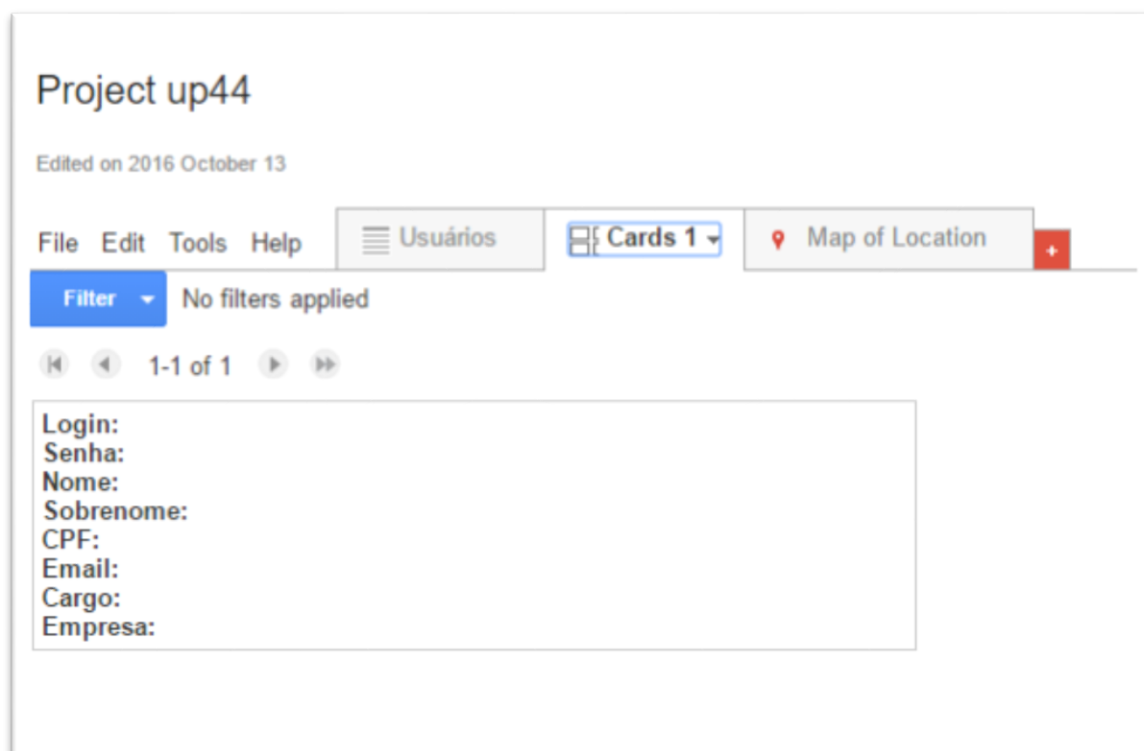


**Figura 13 - Tela de desenvolvimento por blocos**  
**Fonte: <ai2.appinventor.mit.edu/>**

### 3.2.4 Google Fusion Tables

As Fusion Tables são um serviço experimental do Google para agrupar informação online, visualizar e compartilhar em formato de tabelas. Foi lançado em 2009 e em 2011 foi incorporado ao serviço *online* Google Docs (Google Suport, 2012).

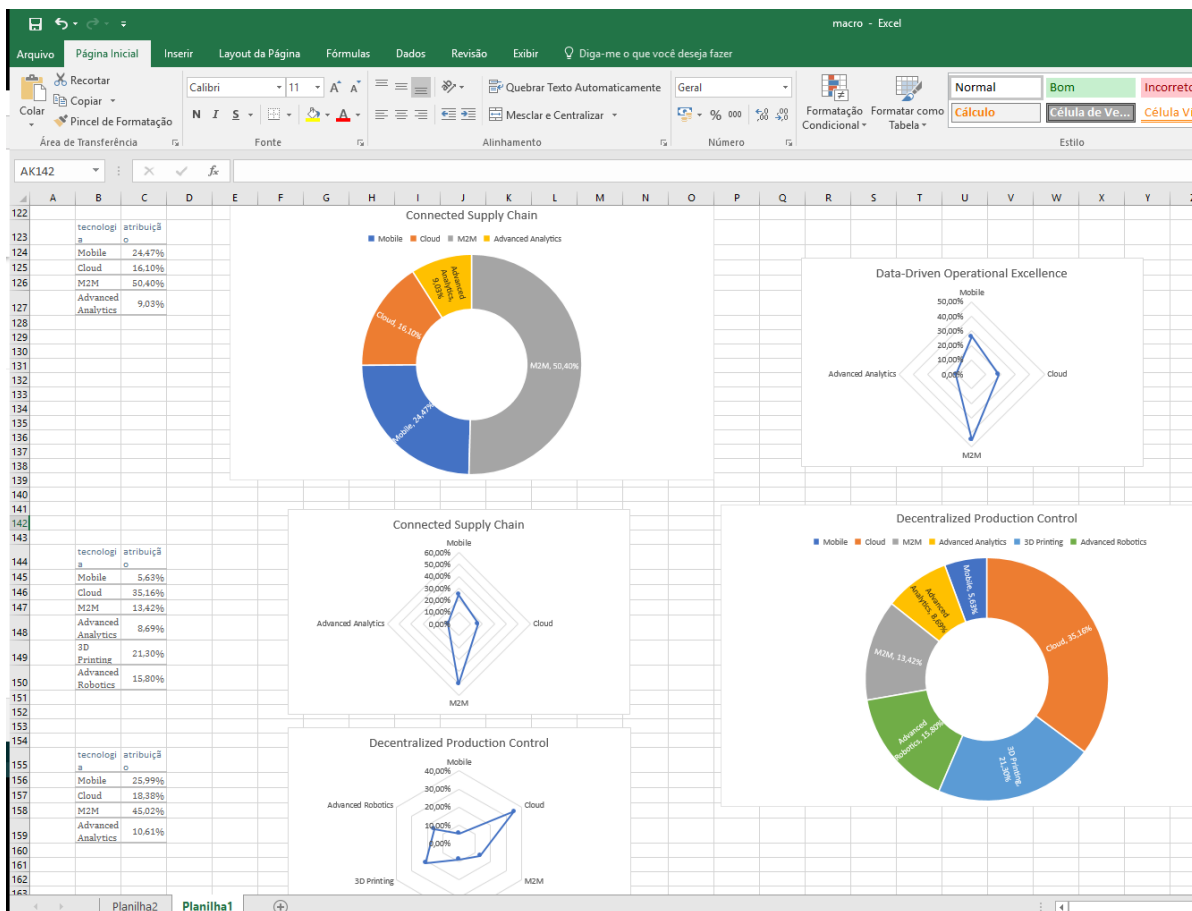
Neste trabalho, as Fusion Tables são utilizadas para receber a resposta do método AHP gerada pelo aplicativo e enviar esta informação ao Excel em formato de tabela (.xls) para que o resultado gráfico seja construído. Um exemplo de tabela utilizada pode ser observado na Figura 14.



**Figura 14 - Exemplo de tabela em Fusion Tables**  
Fonte: <fusiontables.google.com>.

### 3.2.5 Microsoft Office Excel

Editor de planilhas produzido pela Microsoft desde 1987, o Office dispensa apresentações. Sendo o editor mais utilizado no mundo nos dias de hoje, é crucial para realização de cálculos estatísticos e criação de tabelas e gráficos. Neste trabalho, o software foi utilizado para a criação dos gráficos que farão parte da resposta final e serão utilizados para uma visualização mais ampla e completa dos resultados do aplicativo. A Figura 15 é um exemplo da utilização do Excel no trabalho.



**Figura 15 - Exemplo de tabela em Excel.**  
**Fonte: Microsoft Excel (2016).**



## 4 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO

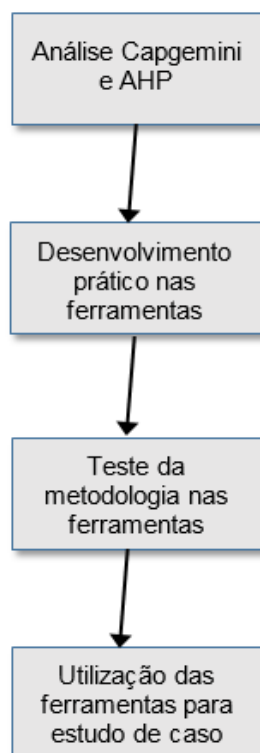
Para dar continuidade ao projeto, depois de ter toda a base teórica estruturada e a metodologia definida e desenvolvida, faz-se necessária a criação de um modelo de avaliação que seja interativo e de simples utilização. O aplicativo tem por público alvo pessoas responsáveis pela implementação de novas tecnologias no ambiente fabril das suas respectivas empresas que não necessariamente conheçam o método AHP ou sequer saibam que a avaliação será feita com base no referido método.

O desafio aqui é criar uma experiência de usuário que parta de simples comparações entre tecnologias que o usuário conheça e definições básicas para que o avaliador possa direcionar suas respostas conforme sua especialidade. O aplicativo se encarregará de realizar os cálculos do modelo e entregar uma resposta direta envolvendo as áreas da empresa que estejam evoluídas dentro do conceito de Indústria 4.0 e as que necessitam evolução.

Em um primeiro momento, é apresentado um modelo robusto dos pilares da Indústria 4.0 definidos dentro do método AHP para definição dos pesos e das comparações. Depois, é apresentado o algoritmo desenvolvido para realizar os cálculos entre as comparações e entregar como resposta os valores destas comparações.

Na seção de especificação, é apresentado o modelo da aplicação, com toda sua identidade visual, experiência de usuário e o desenvolvimento interno dos cálculos e bases de dados (conhecido em linguagem de programação como back-end). Este desenvolvimento é apresentado por meio das próprias telas da aplicação e fluxogramas de desenvolvimento e utilização.

Por último, é apresentado um exemplo do resultado da avaliação, ou seja, o resultado do modelo AHP das comparações feitas pelo avaliador. Estes resultados se darão por meio de um gráfico radial entre as definições pertinentes. A figura 16 ilustra toda a organização.



**Figura 16 - Fluxograma de organização metodológica**

**Fonte: Autoria Própria.**

#### 4.1 MODELAGEM

Com base no *framework* da Indústria 4.0 é possível estruturar a base teórica da manufatura avançada. Deste ponto em diante o projeto se desenvolve utilizando as diversas ferramentas citadas no capítulo 3, seção 3.2, necessárias para extrair essa base e aplicá-la em um método de tomada de decisão.

Criou-se a partir do *framework*, primeiramente, um modelo de método de tomada de decisão multicritério (*MCDM* baseado no AHP no *software* Super Decisions para que fosse possível validar a estrutura do modelo e os testes de respostas numéricas acerca do processo de avaliação. No terceiro passo, o modelo AHP desenvolvido em *software* foi explicitado e codificado para uma linguagem de programação genérica, linguagem C, utilizando-se a ferramenta Dev C++. Tendo as contas matriciais e índices numéricos necessários transformados em códigos, foi possível finalmente desenvolver o aplicativo, utilizando-se o *software* MIT App Inventor 2.

#### 4.1.1 AHP e o *framework* da Indústria 4.0

Com a estrutura teórica sobre a Indústria 4.0 bem fomentada pelos estudos desenvolvidos pela Capgemini foi possível modelar um método de tomada de decisão multicritério com as características deste referencial (*framework*), tendo como objetivo evoluir uma fábrica do nível tecnológico que ela se encontra, para o nível 4.0, pensando na sua melhoria geral tanto no que diz respeito a sua eficiência quanto ao seu crescimento como um todo (pilares do *framework*).

Para que fosse possível a criação deste modelo, foi usada a ferramenta Super Decisions, desenvolvida especialmente para modelagem de estruturas AHP. A Figura 17 ilustra o modelo multicritério de tomada de decisão AHP desenvolvido neste trabalho, baseado na indústria 4.0.

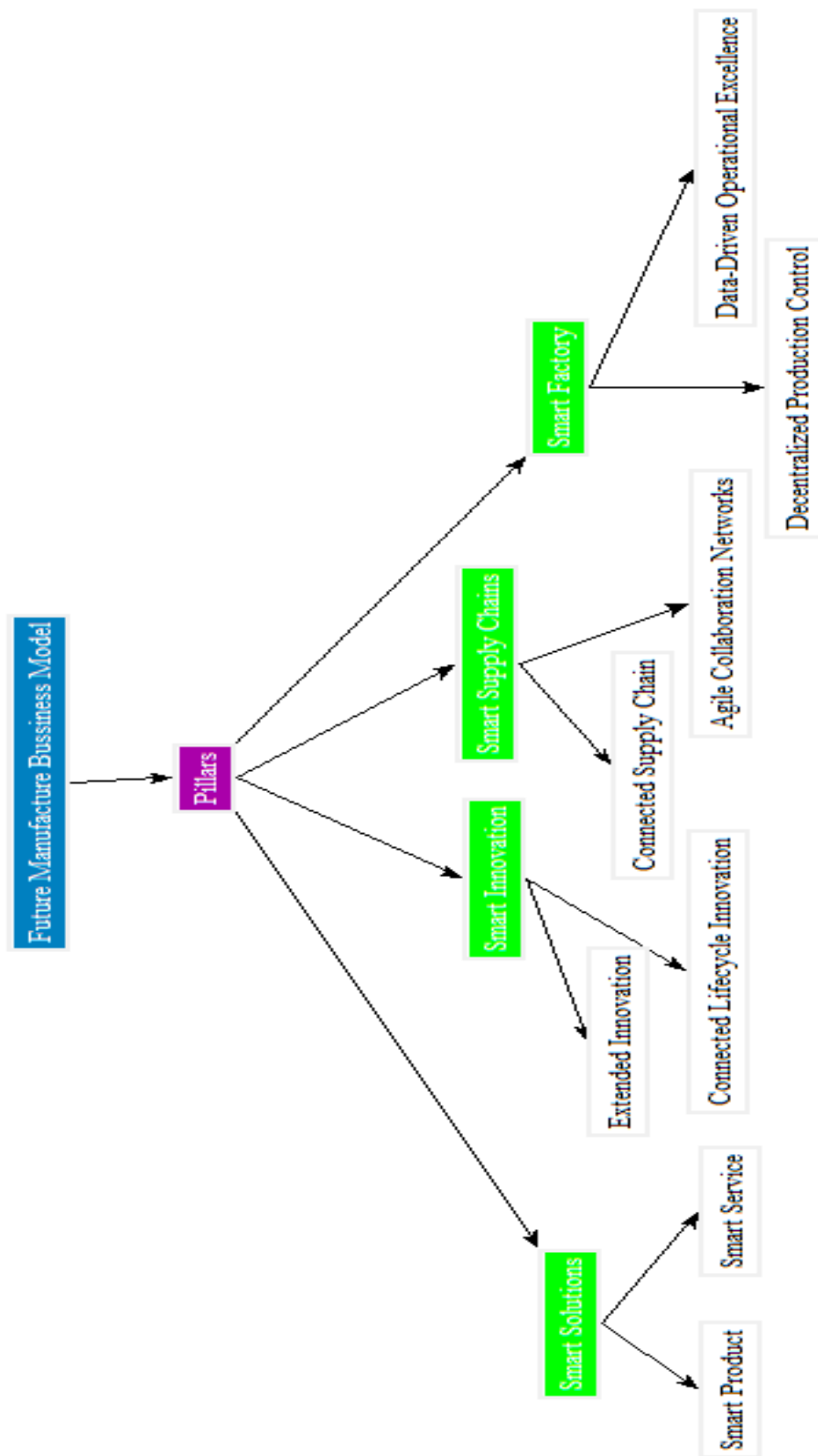


Figura 17 - Modelo AHP para Indústria 4.0  
 Fonte: Autoria Própria.

O objetivo principal do modelo é indicado pela caixa azul do primeiro nível, nomeado “*Future Manufacture Business Model*” (ou novo modelo de negócio de manufatura), pois é para esta direção que será direcionada a indústria.

O critério de segundo nível, que pode ser observado nas Figuras 18 e 19, de cor purpura, foi chamado “*Pillars*” (representando os quatro pilares fundamentais da Indústria 4.0), e serve para comparar qual dos pilares está mais bem avaliado na fábrica a ser aplicado o teste.

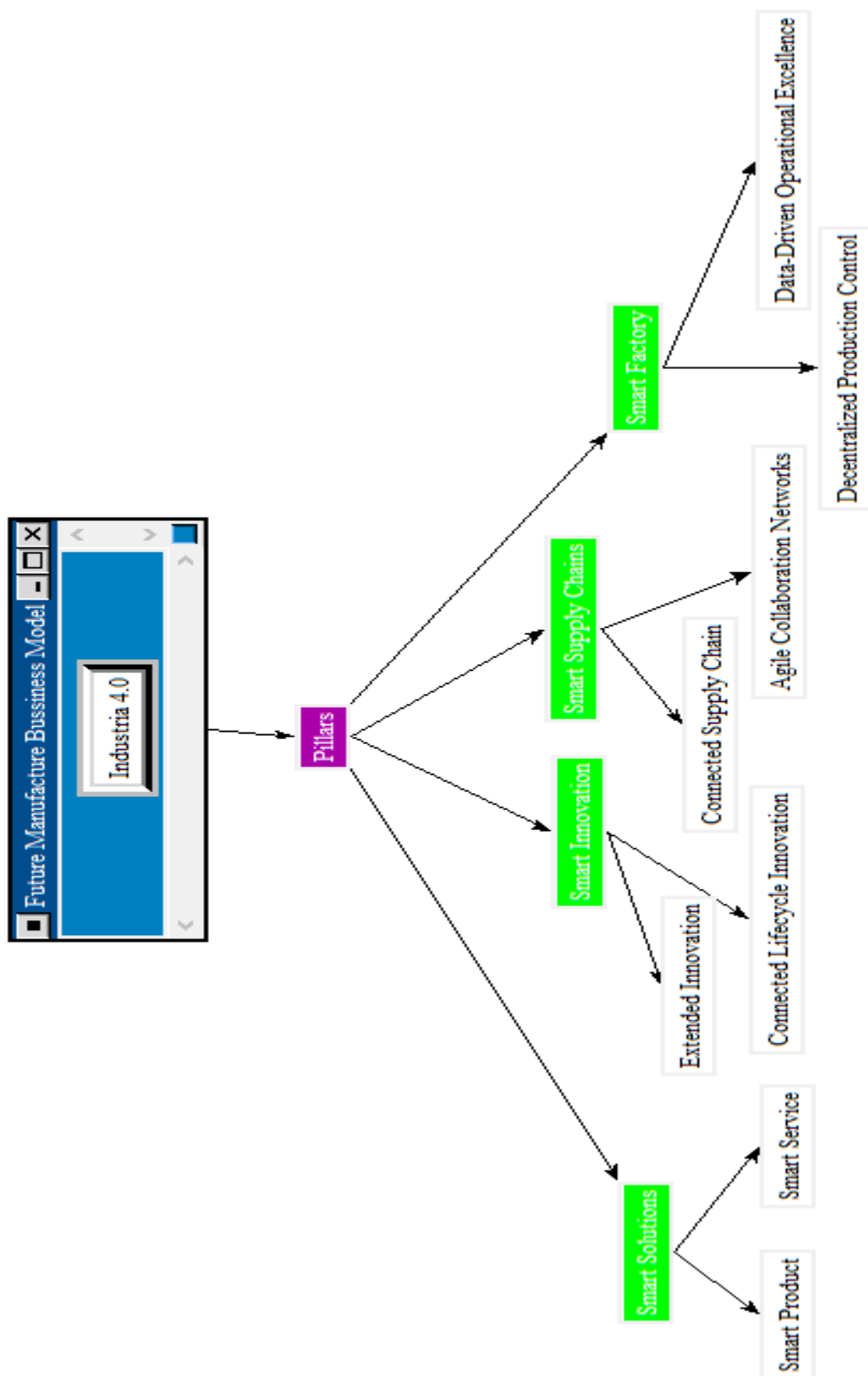


Figura 18 - Visão aproximada do primeiro nível (objetivo)  
 Fonte: Autoria Própria.

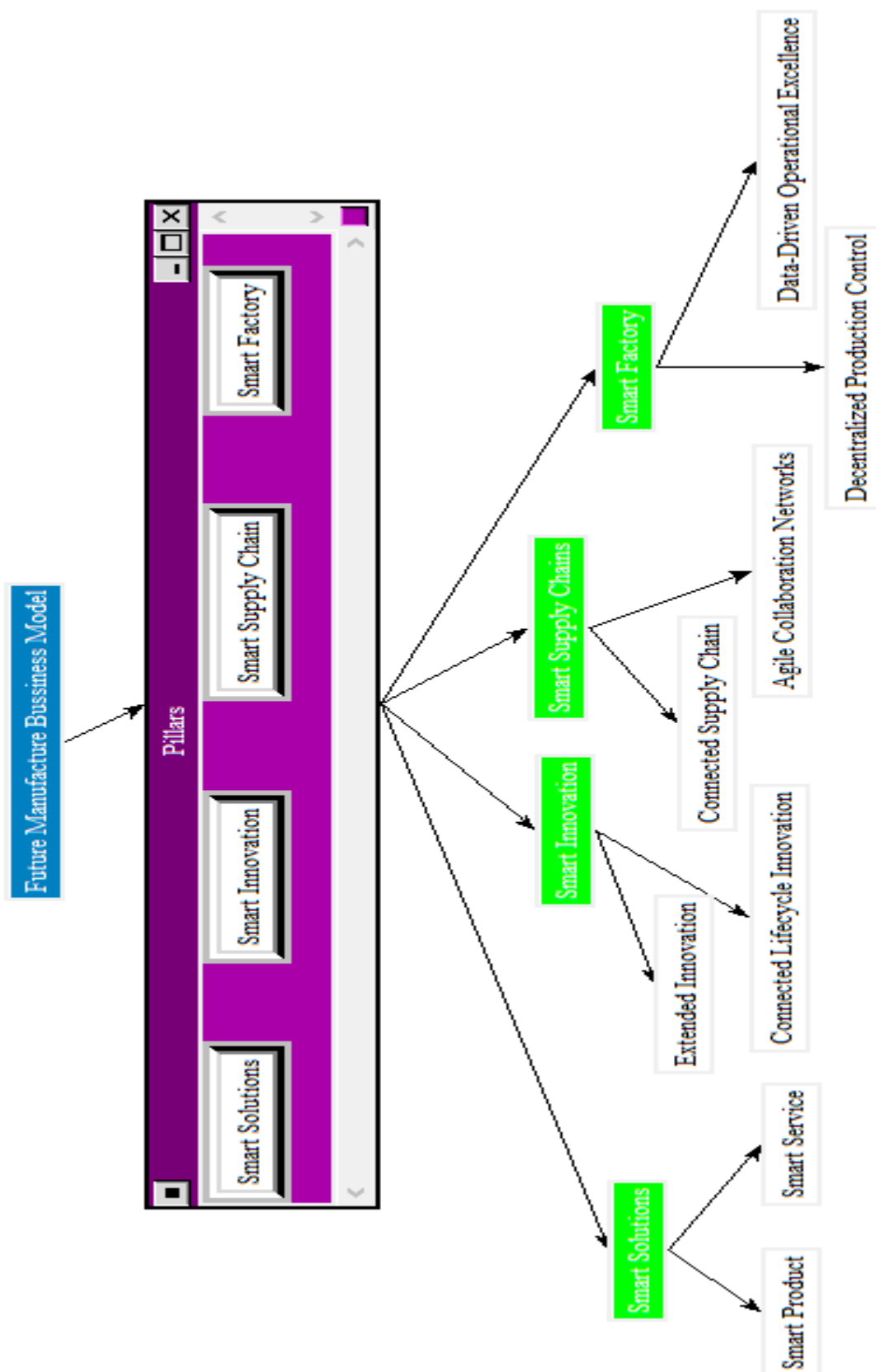


Figura 19 - Visão aproximada do nível, os quatro pilares fundamentais  
 Fonte: Autoria Própria.

Para o terceiro nível, em verde, foram explicitados os quatro pilares, cada um contendo suas duas vertentes para que elas pudessem ser também comparadas, uma com a outra, dependendo do pilar a ser avaliado (Figuras 20 e 21).

No quarto nível, com os *clusters* (caixas) de cor branca, foram explicitadas as vertentes de cada um dos quatro pilares. Este nível é importante na avaliação pois nele os sete habilitadores tecnológicos (*Technology Enablers*) serão comparados, dependendo de cada pilar.

Outro comentário pertinente, é de que nem todos os habilitadores tecnológicos foram avaliados para todas as vertentes dos pilares, como pode se ver no *cluster* branco “*Smart Service Technology Enablers*”, aonde apenas seis tecnologias são apresentadas para comparação. Essa questão foi posta em pauta no grupo de estudos da PUCPR, e basicamente foi resolvida de forma a desconsiderar alguns habilitadores tecnológicos que não eram relevantes para aquela vertente do pilar tecnológico.



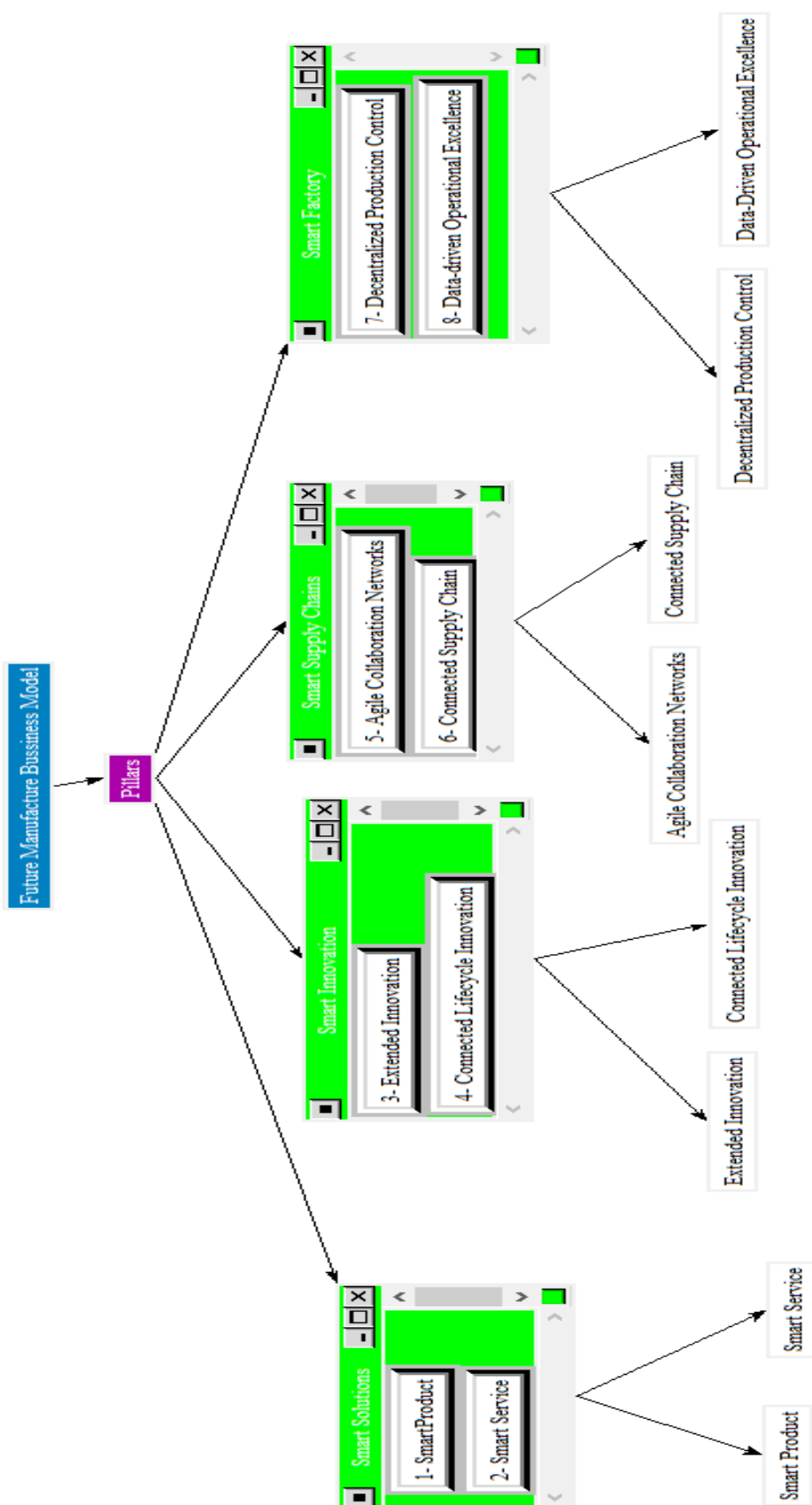


Figura 20 - Visão aproximada do nível das duas vertentes de cada pilar  
 Fonte: Autoria Própria.

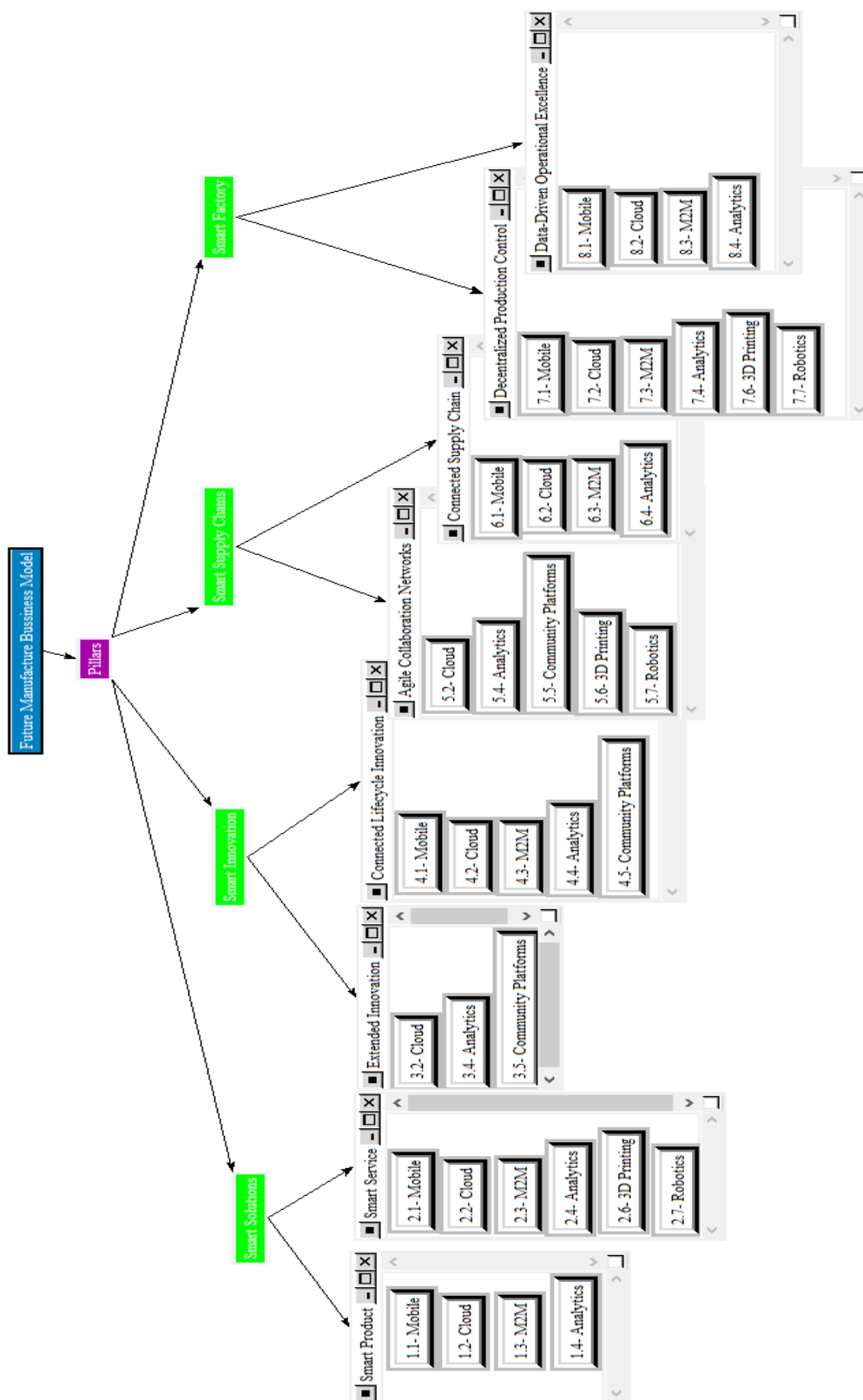


Figura 21 - Visão aproximada do nível dos habilitadores tecnológicos  
 Fonte: Autoria Própria.

### 4.1.2 Comparações no *framework* da Indústria 4.0

Para caracterizar uma fase de testes do modelo AHP concebido, foi criado um exemplo de comparação entre tecnologias de forma a investigar a dinâmica de avaliação do *software* Super Decisions e a facilitar o entendimento do uso do AHP para o projeto. No exemplo da Figura 22, um suposto especialista de determinada fábrica estaria avaliando, de forma a comparar uma com a outra, as tecnologias dentro do critério *Connected Lifecycle Innovation*.

Comparisons for Super Decisions Main Window: modeloCAP\_ANP.sdm

#### 1. Choose

Node Cluster

Choose Node

4- Connected L~

Cluster: Smart Innovatio~

Choose Cluster

Connected Life~

#### 2. Node comparisons with respect to 4- Connected Lifecyc~

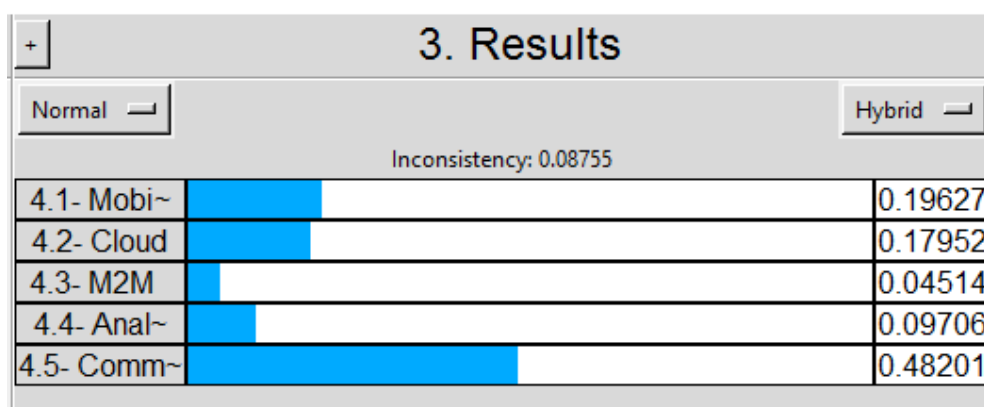
Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct

Comparisons wrt "4- Connected Lifecycle Innovation" node in "Connected Lifecycle Innovation Technology Enablers" cluster

1.	4.1- Mobile	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4.2- Cloud
2.	4.1- Mobile	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4.3- M2M	
3.	4.1- Mobile	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4.4- Analytics	
4.	4.1- Mobile	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4.5- Community ~	
5.	4.2- Cloud	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4.3- M2M	
6.	4.2- Cloud	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4.4- Analytics	
7.	4.2- Cloud	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4.5- Community ~	
8.	4.3- M2M	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4.4- Analytics	
9.	4.3- M2M	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4.5- Community ~	
10.	4.4- Analytics	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4.5- Community ~	

**Figura 22 - Avaliação no SuperDecisions**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Após a comparação o especialista receberia um índice de inconsistência, para entender se as suas comparações fizeram sentido. Se seu índice estiver abaixo de 10%, sua comparação faz sentido, como na Figura 23, e ele pode avaliar a próxima vertente dos pilares da Indústria 4.0.



**Figura 23 - Índice de Inconsistência**  
**Fonte: Aatoria Própria.**

Ao final do cumprimento desta fase de testes o projeto do aplicativo passou a ser executado. Com a utilização da ferramenta Dev C++, todas essas comparações e cálculos de nível de inconsistência necessários para avaliar a maturidade da indústria foram implementados em forma de códigos de programação. Isso foi necessário para que fosse possível a implementação do modelo AHP no aplicativo.

#### 4.1.3 Dev C++ e o framework da Indústria 4.0

Usando como linguagem de programação o C/C++ foram extraídos todos os cálculos e requisitos de estruturação de matrizes do AHP, para serem codificados em um compilador, Dev C++, com o intuito de deixar os códigos implementados para testes de funcionalidade e execução destes cálculos. Tudo isso para que quando o aplicativo estivesse sido desenvolvido na ferramenta MIT App Inventor 2 a transição das contas do método AHP para o aplicativo fosse mais fácil.

Todos os passos necessários para a formulação de uma tomada de decisão multicritério usando o processo analítico hierárquico foram desenvolvidos em código (Figura 24), e serão brevemente citados, para uma melhor visualização de como o método AHP se comportará dentro do aplicativo.

Primeiro foi codificada uma função de criação de matrizes, dependendo do número de critérios, no caso da avaliação das tecnologias de *Connected Lifecycle Innovation*, esses critérios criam uma matriz (5x5) pois esta vertente do pilar *Smart Supply Chains* da Indústria 4.0 possui cinco tecnologias para comparação.

```

25
26 //Escolha o numero de criterios
27 cout<<"entre com o numero de criterios: ";
28 cin>>c;
29 cout<<"\n";
30 float mat_s[c][c], mat_i[c][c];
31
32
33
34 // Calcula quantos termos terá a diagonal superior, que são o número de comparações...
35 // dependendo do numero de critérios
36 int valor=0, valorAnterior=0;
37 for(int x=1; x<=c; x++){
38     valorAnterior=valor;
39     cout<<"\n valorAnterior : "<<valorAnterior;
40     valor=valorAnterior+(x-1);
41     cout<<"\n valor : "<<valor;
42 }
43 float v_superior[valor],v_inferior[valor];
44
45
46
47 // Coloca os valores das comparações na diagonal Superior
48 cout<<" \n entre com os "<<valor<<" valores de comparacao \n";
49 for(int x=1; x<=valor; x++){
50     cin>>v_superior[x];
51     cout<<"\n v na posicao ["<<x<<"]" vale = "<<v_superior[x]<<"\n";
52 }
53 // Vetor dos valores invertidos, valores na diagonal Inferior
54 for(int x=1;x<=valor; x++){
55     v_inferior[x]=1./v_superior[x];
56 }
57

```

**Figura 24 - Código, critérios e peso das comparações**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Como o mecanismo de avaliação multicritério é comparar um a um e apenas uma vez, foi codificada uma função para a comparação dos critérios das matrizes. Para cinco critérios, por exemplo, serão necessárias dez comparações, como visto no software Super Decisions, utilizado para modelar inicialmente a Indústria 4.0, mostrado na Figura 14 do capítulo 4, seção 4.1.2.

Após os pesos entre as comparações terem sido dados, o código desenvolvido trata de resolver os autovetores e autovalores necessários para o índice de inconsistência (Figuras 25 e 26). O autovalor é responsável por calcular o índice de coerência das comparações, bem como os valores das comparações que agora podem ser descritos numericamente, que é o objetivo do método AHP no projeto.

```

128
129 // AUTO-VETORES
130 float auto_vetor[c], multiplicado, aux, total_auto_vetor=0, total_perc_vetor=0, perc_vetor[c], y, x;
131 for(int i=1;i<=c;i++){
132     for(int j=1;j<=c;j++){
133         aux = MAT[i][j]; cout<<"\n \n valor de aux: " <<aux;
134         if(j>1) {
135             multiplicado = multiplicado * aux; cout<<"\n \n valor de multiplicado: " <<multiplicado;
136         }
137         else multiplicado = aux;
138     }
139     auto_vetor[i]=pow(multiplicado, 1.0/c); cout<<" \n resultado Auto Vetor[" <<i<<"] : " <<auto_vetor[i]<<"\n";
140     total_auto_vetor = total_auto_vetor+auto_vetor[i];
141 }cout<<"\n resultado Auto Vetor TOTAL: " <<total_auto_vetor;
142
143 // VETORES NORMALIZADOS
144 for(int i=1;i<=c;i++){
145     x=auto_vetor[i];
146     y=total_auto_vetor;
147     perc_vetor[i]= (x/y)*100; cout<<"\n \n valor de perc_vetor: " <<perc_vetor[i];
148     total_perc_vetor = total_perc_vetor+perc_vetor[i];
149 }cout<<"\n resultado vetor NORMALIZADO: " <<total_perc_vetor;
150 cout<<"\n \n \n";
151
152 // AUTO-VALORES
153 float somado[c], total_auto_valor=0, auto_valor[c];
154 for(int j=1;j<=c;j++){
155     for(int i=1;i<=c;i++){
156         somado[j] = somado[j] + MAT[i][j]; cout<<"\n \n valor de somado[" <<j<<"] : " <<somado[j];
157     }
158     auto_valor[j]=somado[j]; cout<<" \n resultado Auto Valor[" <<j<<"] : " <<auto_valor[j]<<"\n";
159     total_auto_valor = total_auto_valor+auto_valor[j];
160 }cout<<"\n resultado Auto Valor TOTAL: " <<total_auto_valor;
161
162 // Multiplicação de matrizes Auto Vetores x Valores
163 float lambda=0;
164 for(int x=1; x<=c; x++){
165     lambda=lambda+(perc_vetor[x]*auto_valor[x]);
166 }lambda=lambda/100; cout<<"\n \n lambda: " <<lambda;
167

```

Figura 25 - Auto vetores, autovalores  
Fonte: Autoria Própria.

```

168 // Índice de Coerência
169 float IC, RC, IR;
170 IC=(lambda-c)/(c-1); cout<<"\n \n Índice de Coerência: " <<IC;
171
172 // Razão de Coerência
173 switch (c){
174     case 1:
175         IR=0;
176         break;
177     case 2:
178         IR=0;
179         break;
180     case 3:
181         IR=0.58;
182         break;
183     case 4:
184         IR=0.9;
185         break;
186     case 5:
187         IR=1.12;
188         break;
189     case 6:
190         IR=1.24;
191         break;
192     case 7:
193         IR=1.32;
194         break;
195     case 8:
196         IR=1.41;
197         break;
198     case 9:
199         IR=1.45;
200         break;
201     case 10:
202         IR=1.49;
203         break;
204 }cout<<"\n \n Índice Randômico de Saaty: " <<IR;
205
206 RC=(IC/IR); cout<<"\n \n Razão de Coerência: " <<RC;
207 if(RC<0.1)
208     cout<<"\n \n Os julgamentos são Coerentes!";
209 else cout<<"\n \n Os julgamentos são Incoerentes!";
210 } //fecho main
211

```

Figura 26 - Índice de coerência e cálculo de Inconsistência  
Fonte: Autoria Própria.

## 4.2 ESPECIFICAÇÃO

O sistema concebido a partir deste projeto será um aplicativo, ou seja, um programa de computador que tem por objetivo auxiliar o usuário em uma tarefa específica. Um aplicativo móvel (aplicação móvel ou *app*) é um aplicativo concebido para dispositivos eletrônicos móveis, como celulares e *tablets*. Este tipo de aplicação foi escolhido por apresentar versatilidade e fácil disponibilidade, podendo ser utilizado a qualquer momento e em qualquer lugar dentro de um contexto empresarial ou ambiente industrial.

### 4.2.1 Aplicativo

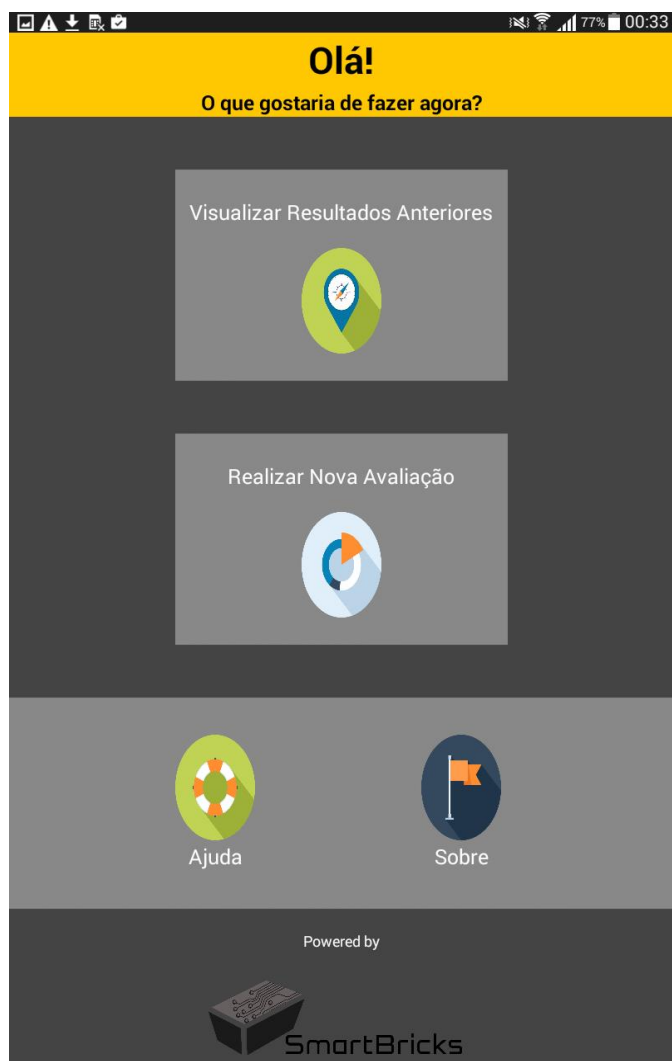
Trabalhar com uma aplicação móvel é um desafio um pouco diferente na criação de sistemas de engenharia, pois um *app* precisa seguir algumas regras básicas de utilização e construção que o tornem simples e atrativo, contrariando a maior parte dos *softwares* de engenharia que são pouco intuitivos e de difícil utilização. O primeiro passo é a criação de uma interface simples e atrativa, assim como uma identidade visual forte e precisa no objetivo de passar a ideia do *app*. O nome escolhido para esta aplicação foi “Go 44”, que pode ser entendido como “Go four four” em inglês, uma analogia a “Go for four”, expressão em inglês que significa “Ir para 4”, citando a evolução das indústrias para a quarta revolução industrial (Figura 27).



**Figura 27 - Logo Aplicativo Go 44**  
**Fonte: Autoria Própria.**

O sistema possui uma interface composta por caixas de texto e botões, que direcionam o usuário desde o cadastro até o resultado final, como visto na Figura 28. A cor predominante é cinza escuro (chumbo) e os botões são do estilo *rounded*, tendência em aplicações móveis.





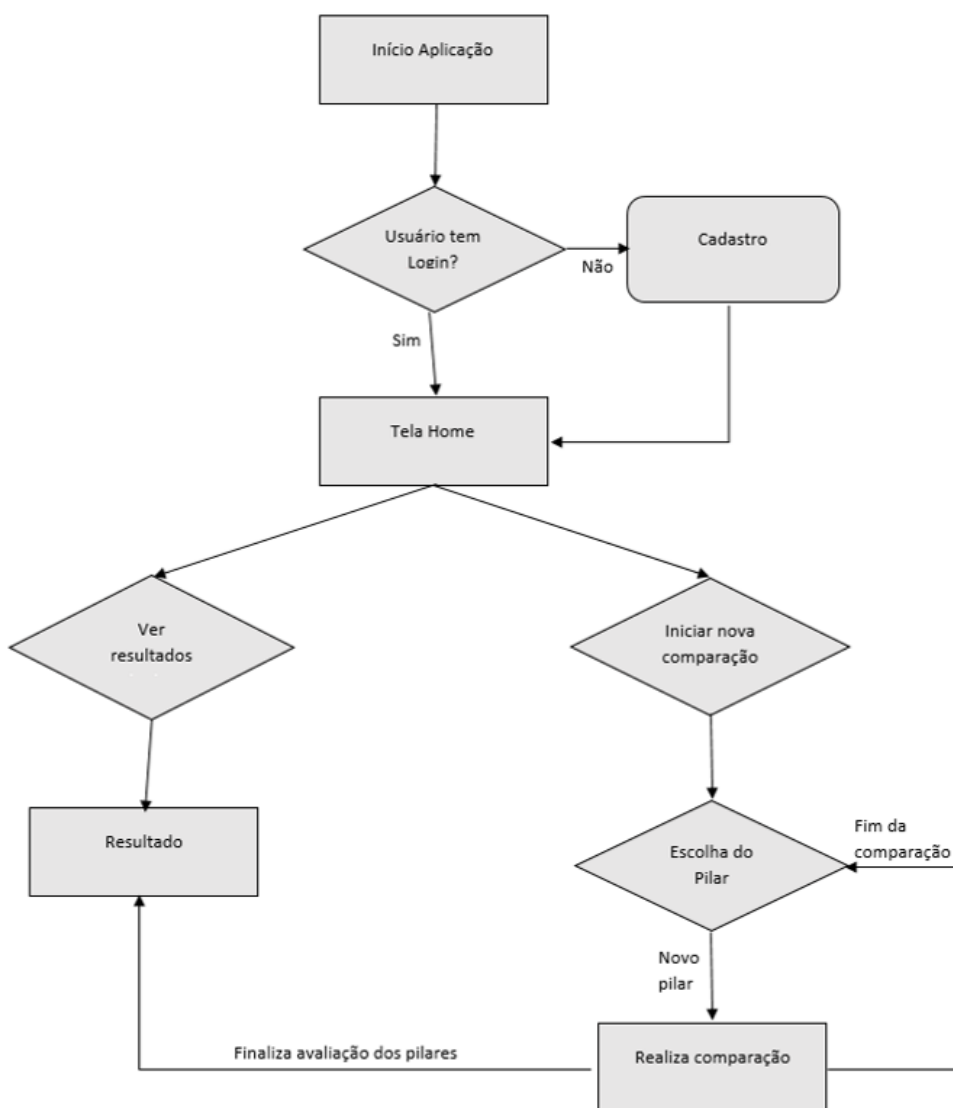
**Figura 28 - Identidade visual da aplicação**  
**Fonte: Autoria Própria.**

O aplicativo é particularmente pesado, visto que a camada de cálculo ocupa uma memória considerável, e são necessários vários trechos de texto para definir os pilares avaliados pelo usuário, para que a todo momento este saiba exatamente o que está avaliando, mesmo se não estiver familiarizado com algum termo da definição de indústria 4.0, e assim diminuir as chances que equívoco na avaliação. A versão final do aplicativo possui um tamanho de mais ou menos 10MB, porém, foi concebido para rodar em qualquer dispositivo Android tranquilamente.

#### 4.2.2 Experiência de usuário

O *Front-End* (termo que designa a camada da aplicação que está em constante contato com o usuário) foi concebido para proporcionar ao usuário avaliador uma ótima experiência de avaliação. Como o desenvolvimento das comparações será extenso, foi necessário planejar uma sequência de telas que não se tornasse repetitivo ou perdesse o interesse do avaliador ao longo da avaliação. Para isso, o avaliador será constantemente desafiado a ir diretamente ao ponto e fluir sua avaliação em direção ao resultado final.

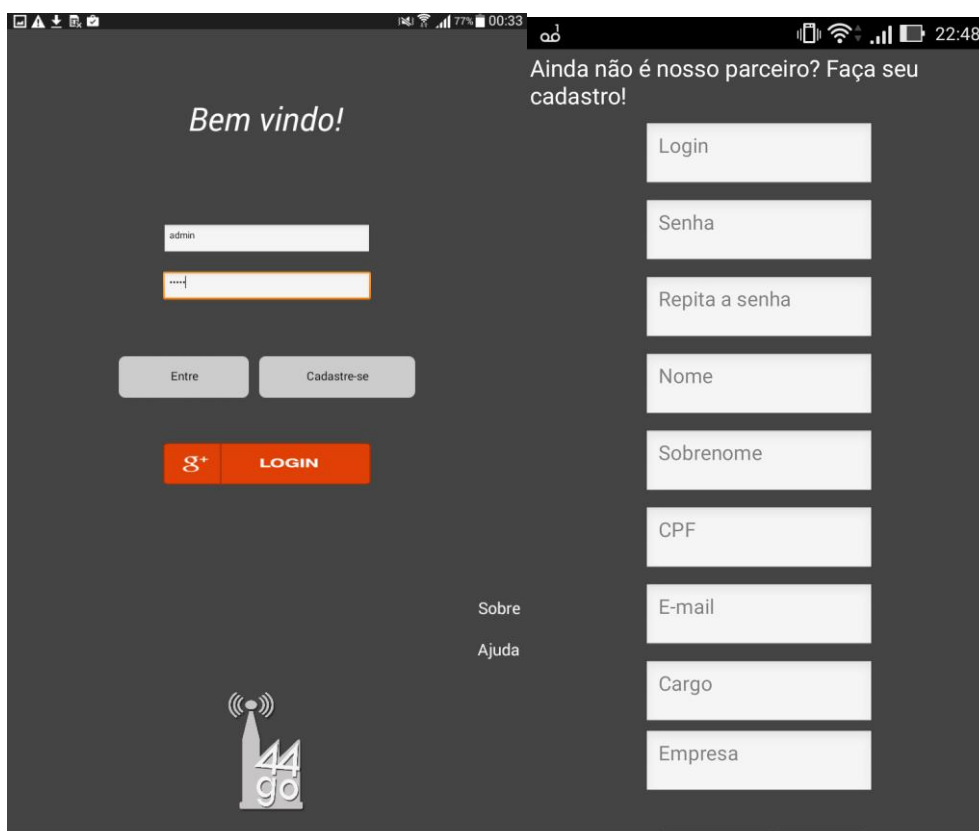
Na Figura 29, um fluxograma da experiência do usuário enquanto estiver utilizando o aplicativo:



**Figura 29 - Fluxograma de Experiência de Usuário**  
Fonte: Autoria Própria.

#### 4.2.2.1 Login e Cadastro

O *login* e cadastro do usuário são importantes informações adquiridas pelo aplicativo. Além de garantir segurança ao avaliador, devido ao fato de que as informações entregues por ele ao aplicativo serão vistas apenas por ele mesmo, o *login* único (autenticação) do avaliador salva seus resultados para posterior análise. O cadastro garante informações úteis, como por exemplo cargo e empresa avaliada, para que posteriormente o aplicativo possa fornecer uma grande base de dados de avaliação e classificar essa informação conforme perfil do avaliador. Caso o avaliador já possua cadastro registrado no aparelho móvel, será redirecionado automaticamente para a tela Home (Figura 30). Caso não possua, será direcionado para a tela de cadastro.



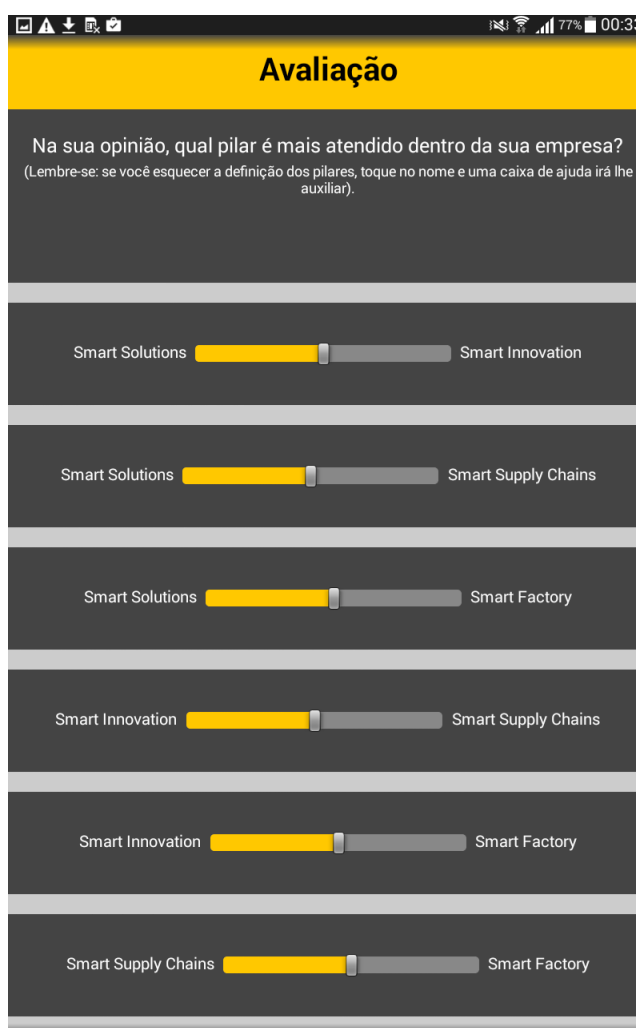
**Figura 30 - Tela de login e cadastro**  
Fonte: Autoria Própria.

#### 4.2.2.2 Tela *Home*

A tela *Home* é a tela inicial do aplicativo (Figura 28). É nela que o usuário avaliador decidirá se deseja prosseguir com a avaliação ou visualizar resultados anteriores.

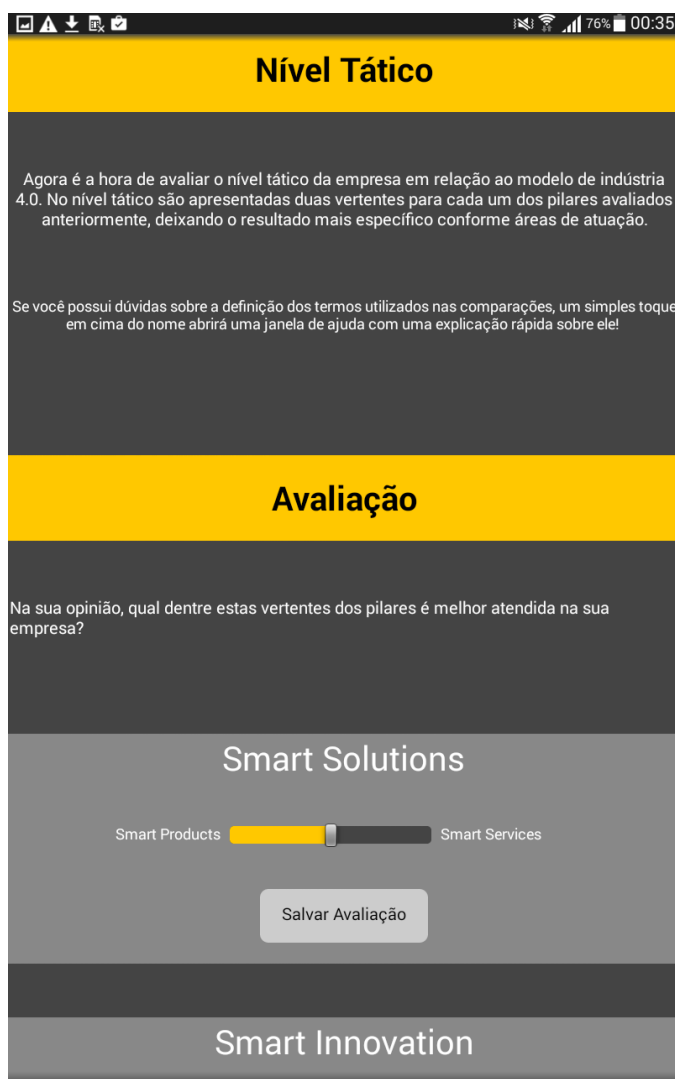
#### 4.2.2.3 Telas de Avaliação

As telas de avaliação são o local onde estará concentrado todo o funcionamento da base de cálculo do aplicativo. Nelas o usuário irá, primeiramente, realizar a avaliação par-a-par entre os quatro pilares, como mostra a Figura 31.



**Figura 31 - Tela de avaliação pilares**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Depois de avaliar o nível de pilares, ou primeiro nível, o usuário será encaminhado a segunda tela, no nível tático, onde deverá realizar a avaliação entre as duas vertentes de cada pilar, par-a-par, totalizando quatro avaliações e oito vertentes, como na Figura 32.

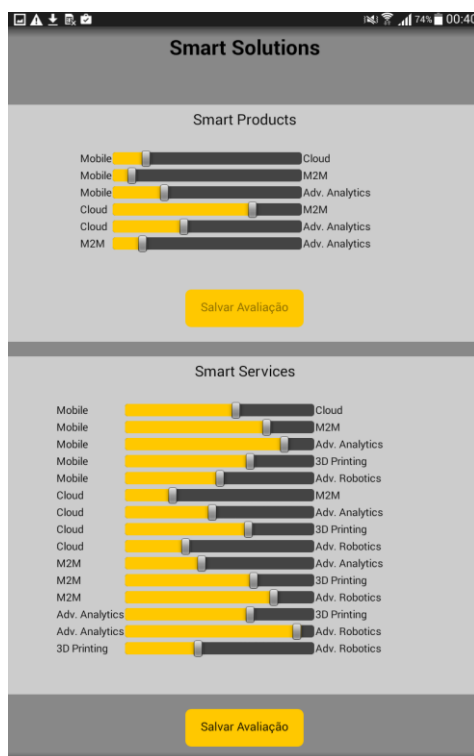


**Figura 32 - Tela de avaliação nível tático**  
**Fonte: Autorial Própria.**

Quando finalizar a avaliação do nível tático, o usuário irá avaliar o nível operacional, ou seja, as tecnologias propriamente ditas. Para realizar essa avaliação, o usuário terá contato com uma breve descrição de cada tecnologia e poderá avaliar a partir de cada pilar e cada vertente, como mostram as Figuras 33 e 34.



**Figura 33 -Tela de avaliação operacional**  
Fonte: Autoria Própria.



**Figura 34 - Tela de avaliação operacional 2**  
Fonte: Autoria Própria.

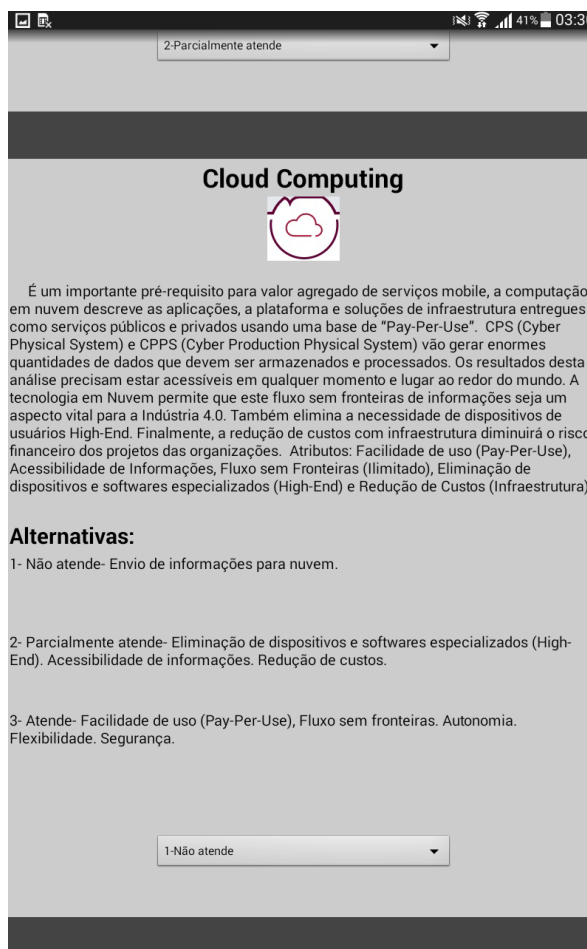
Vale ressaltar que nem todas as sete tecnologias principais do modelo Capgemini fazem parte das avaliações de todas as vertentes. Isso acontece por que existem algumas tecnologias que não são relevantes nas avaliações, como mostra a Figura 35, onde somente os círculos cheios (tecnologias cruciais) e pela metade (tecnologias com certa importância) entram na avaliação da referida vertente.

	Mobile	Cloud	M2M	Advanced Analytics	Community Platforms	3D printing	Advanced Robotics
Smart Products	●	●	●	●	○	○	○
Smart Services	●	●	●	●	○	◐	◐
Extended Innovation	○	●	○	●	●	○	○
Connected Lifecycle Innovation	●	●	●	●	◐	○	○
Agile Collaboration Networks	○	●	○	◐	●	●	●
Connected Supply Chain	●	●	●	●	○	○	○
Decentralized Production Control	◐	◐	●	●	○	●	●
Data-driven Operational Excellence	◐	●	●	●	○	○	○

**Figura 35 - Relevância das tecnologias**

Fonte: Autoria Própria.

Após realizar a avaliação do nível operacional, o usuário irá avaliar a capacidade de cada tecnologia. Para isso, ele deverá realizar uma rápida leitura da definição das tecnologias e escolher em uma lista se sua empresa 'Atende', 'Parcialmente Atende' ou 'Não Atende' cada uma dessas tecnologias, como mostrado na Figura 36.



**Figura 36 - Tela de avaliação da capacidade**  
**Fonte: Autoria Própria.**

#### 4.2.2.4 Tela de Resultado

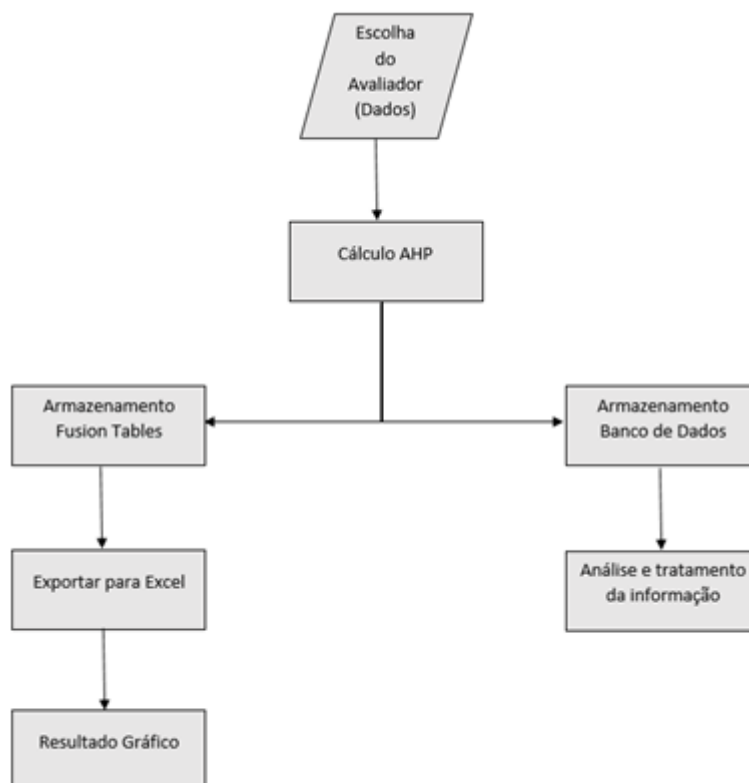
Após avaliar todos os pilares, o usuário receberá o resultado parcial da sua avaliação na última tela do aplicativo, este resultado se dará em formato numérico, conforme explicado na seção 4.3. O resultado final será entregue ao usuário em formato de relatório, também especificado nesta seção.

#### 4.2.3 Back End

Na camada de cálculo do aplicativo (*back end*) estarão concentrados o algoritmo AHP que receberá a informação da comparação efetuada pelo avaliador, o banco de dados que armazenará todas as informações do usuário e resultados de



cálculo e as Fusion Tables, que além de também armazenar e organizar informação adquirida pelo app na nuvem do Google, irá gerar um documento '.xls' com os cálculos que posteriormente serão utilizados para a formatação da resposta gráfica. O *back end* é especificado na Figura 37:



**Figura 37 - Fluxograma de *Back-end***  
Fonte: Autoria Própria.

#### 4.3 RESULTADOS PARCIAIS

Para entendermos a resposta do aplicativo, foram abordados nesta seção as formas de resultados provenientes pelo método AHP. Com esses resultados é possível compreender o que é esperado em matéria de resultados quantitativos de uma comparação entre os habilitadores tecnológicos da manufatura avançada.

### 4.3.1 Resultados

De acordo com o método AHP, os resultados são apresentados na forma de valores numéricos e respostas acerca de qual a melhor escolha a ser feita pelo usuário. Será ilustrado, para exemplificar, uma tabela em Microsoft Excel com explicações pertinentes aos resultados, utilizando os procedimentos de Thomas Saaty.

Supondo que um especialista de uma empresa terminou de fazer a sua análise sobre *Smart Factory* dentro da fábrica aonde ele é um dos gerentes de produção. Para este exemplo, dentro da opção *Smart Factory* no aplicativo, ele acabou por analisar a vertente *Decentralized Production Control*, como mostrado na Tabela 2.

**Tabela 2 - Resultado de cálculo AHP**

Análise de: <i>Decentralized Production Control</i>										
	Mobile	Cloud	M2M	Analytics	3D printing	Robotics	AutoVetor	Normalizado		
Mobile	1	1/2	1/5	1/3	1/3	1/6	0,35	5%		
Cloud	2	1	1/5	1/4	1/3	1/5	0,43	6%		
M2M	5	5	1	3	2	4	2,90	38%		
Analytics	3	4	1/3	1	2	3	1,70	22%		
3D printing	3	3	1/2	1/2	1	1	1,14	15%		
Robotics	6	5	1/4	1/3	1	1	1,16	15%		
Soma das Colunas	20,00	18,50	2,48	5,42	6,67	9,37				
							<b>Total:</b> 7,70	100%		
Autovalor = $\lambda_{\max} = 6,50$										
Consistency Index (CI) = $(\lambda_{\max} - n)/(n-1) = 0,10$										
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49
Consistency Ratio (CR) = (CI/IR) = 0,07985										

Fonte: Autoria Própria.

Como pode ser visto, o especialista avaliou a importância dos seis habilitadores tecnológicos pertinentes nesta vertente da Indústria 4.0. Pode se entender que a diagonal superior é o número de comparações feitas, quinze (para seis critérios), a diagonal principal é um (pois não se compara uma tecnologia com ela mesma) e a diagonal inferior, em vermelho, é o reflexo da comparação feita na diagonal superior, pois se *Mobile* é  $\frac{1}{2}$  vezes mais importante que *Cloud*, então *Cloud* é 2 vezes mais importante que *Mobile*.

Como proposto por Saaty, nas respostas são encontrados os “AutoVetores” provenientes das linhas de cada um dos critérios, aonde o seu valor “Normalizado” é a porcentagem da importância daquela tecnologia para o setor avaliado. O “AutoValor”, ou  $\lambda_{max}$ , é o valor utilizado para obter o *consistency index (CI)*, traduzido como índice de consistência (ou coerência). Por fim, encontramos o *consistency ratio (CR)*, razão de consistência ou coerência, que é o quociente do dividendo *CI* com o divisor *randomic index (RI)*, ou índice randômico. O *RI* é uma tabela de valores preestabelecidos pelo próprio Thomas Saaty e que dependem do número de critérios comparados, no caso, seis.

#### 4.3.2 Gráficos

Com o resultado das comparações devidamente calculado e normalizado, o aplicativo enviará as informações para o Fusion Tables, que fará o papel de ligação entre app e Excel. Os gráficos apresentados ao usuário como resposta final da utilização do aplicativo serão intuitivos e foram pensados para dar uma visão geral da problemática a ser enfrentada visando a evolução do ambiente fabril da respectiva empresa, e o nível de maturidade atual apresentado pela mesma.

O primeiro gráfico é do tipo “explosão solar”, como na Figura 38:

Resultado Análise Tecnologias - Controle de produção descentralizada

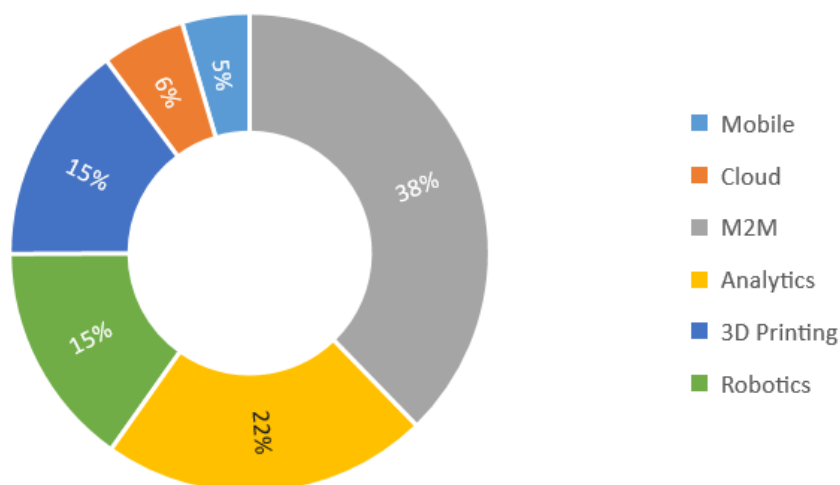
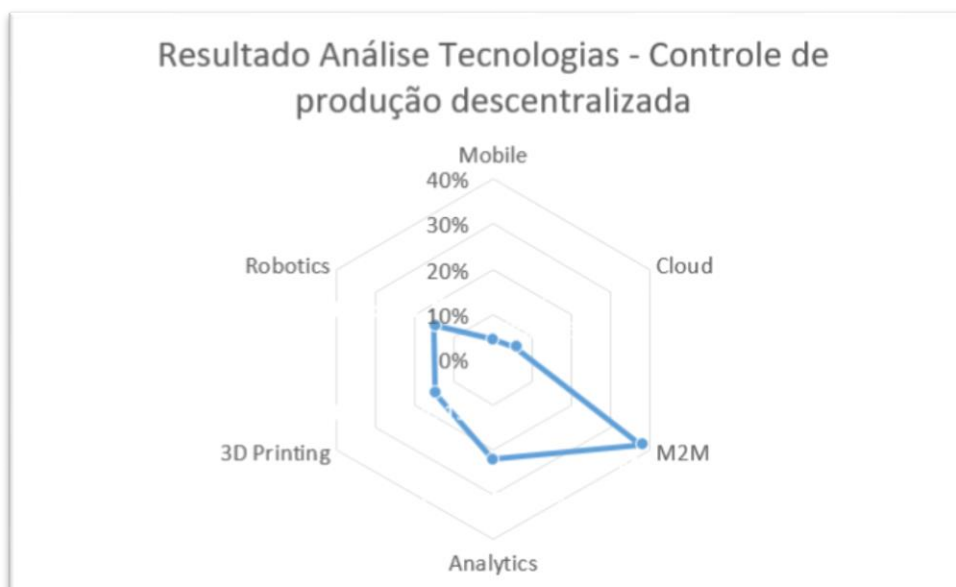


Figura 38 - Gráfico tipo explosão solar  
Fonte: Autoria Própria.

O segundo gráfico é do tipo radar, muito utilizado para comparação, portanto, ideal para esta aplicação, como se pode ver na Figura 39:



**Figura 39 - Gráfico tipo radar**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Com estas respostas, é esperado um feedback positivo por parte dos avaliadores, e que este sistema possa de fato ajudar os responsáveis pelos ambientes fabris das mais diversas áreas a entender melhor a nova revolução industrial e os passos a serem tomados para adequar a tecnologia existente a essa nova perspectiva tecnológica.

#### 4.3.3 Relatório Final de Avaliação

Apesar da tela de resultados do aplicativo entregar ao usuário as respostas numéricas da avaliação, ela serve apenas como uma pré-resposta, pois após realizada a avaliação, o sistema irá gerar arquivos que depois serão utilizados para efetuar a montagem de um relatório final de avaliação. Esse relatório irá conter as informações básicas sobre o avaliador e também as informações mais detalhadas

sobre a avaliação, como por exemplo, as respostas gráficas (que não serão geradas no aplicativo, apenas no relatório final).

O relatório é entregue pelo e-mail próprio do aplicativo (go44@smartbricks.com.br) ao avaliador através do e-mail registrado na avaliação. A primeira página contém as informações básicas da avaliação, como mostrado na Figura 40:



**RESUMO DA AVALIAÇÃO**

DATA DO RELATÓRIO	TIPO DA AVALIAÇÃO	PREPARADO POR
21 de fevereiro de 2017	Standard	Guilherme L. Brezinski

**AVALIADOR**

EMPRESA	CARGO	NOME
Dominus	Gerente Técnico	Maicon Saturno

**SOBRE**

Relatório Final de Avaliação

Plataforma GO44- v 1.0

Sistema de avaliação de maturidade industrial baseando-se nos conceitos da indústria 4.0;

Relatório técnico referente a avaliação dos seguintes parâmetros:

- Pilares;
- Nível Tático;
- Nível Operacional;
- Nível atual de Capacidade;

Proibida reprodução;  
Todos os direitos reservados.

**Figura 40 - Primeira folha relatório final**  
Fonte: Autoria Própria.

A partir da segunda página, o avaliador encontrará, para cada pilar e vertente, uma avaliação das tecnologias pertinentes contendo os valores e os dois modelos de gráfico, como mostra a Figura 41:

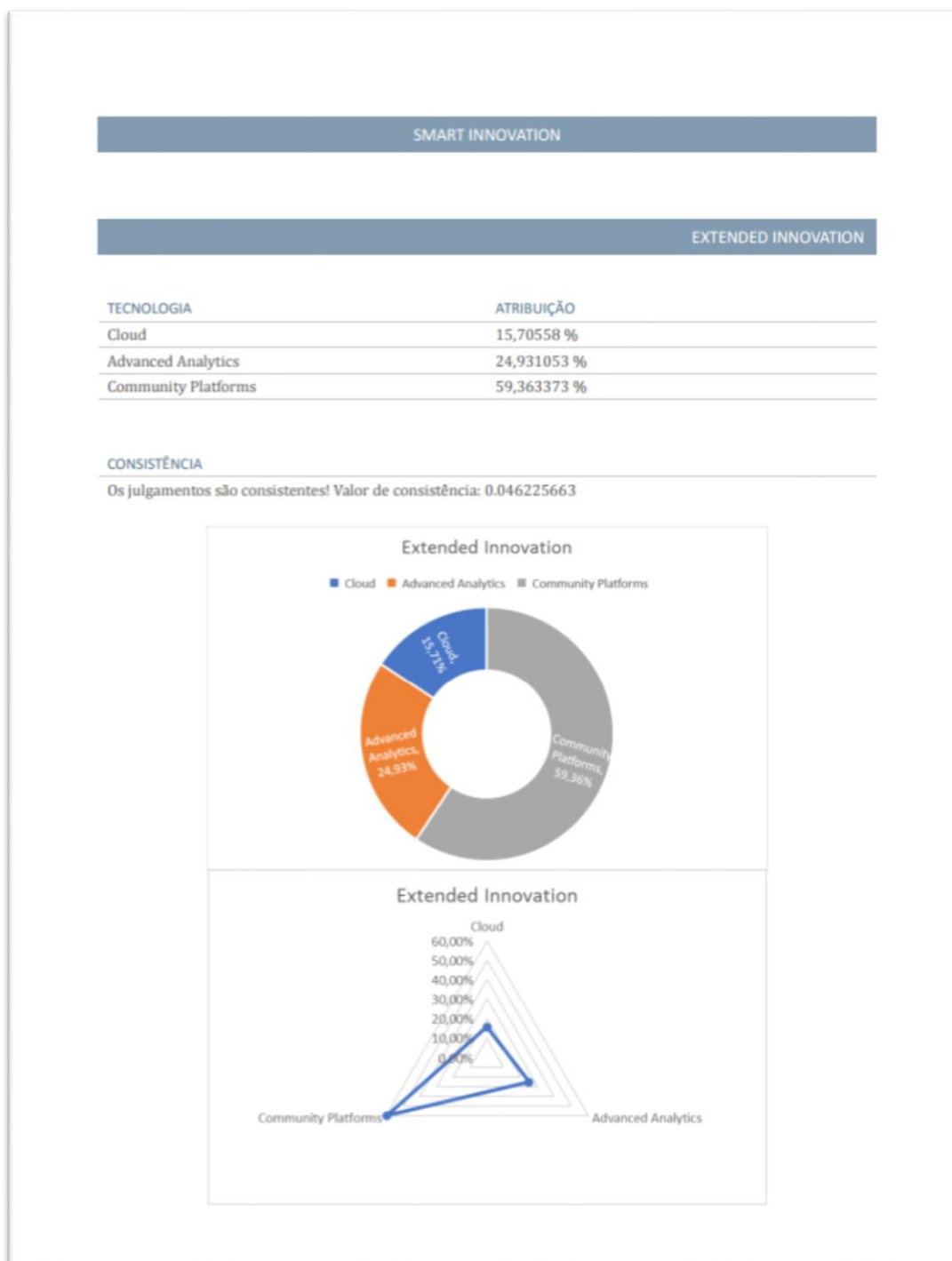


Figura 41 - Folha de avaliação relatório final  
Fonte: Autoria Própria.

Na última página, será entregue um relatório de possíveis falhas que podem vir a ocorrer durante a avaliação e um apanhado geral das inconsistências e das capacidades da avaliação (Figura 42):

RELATÓRIO DE FALHAS		
PROBLEMA	ATRIBUÍDO A	DATA
Falha na matriz de cálculo	\\app-release.apk	21/02/2017

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES	
<b>Pilares:</b>	
Julgamento Consistente	
<b>Nível Tático:</b>	
Julgamento Consistente	
<b>Nível Operacional:</b>	
Inconsistência nas seguintes vertentes:	
Smart Products	
Connected Lifecycle Innovation	
Agile Collaboration Networks	
<b>Capabilidade:</b>	
TECNOLOGIA	SITUAÇÃO
Mobile	Parcialmente atende
Cloud	Não atende
M2M	Parcialmente atende
Advanced Analytics	Parcialmente atende
Community Platforms	Parcialmente atende
3D Printing	Não atende
Advanced Robotics	Parcialmente atende

Página 13

**Figura 42 - Última folha relatório final**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Uma cópia de um relatório completo encontra-se como Apêndice A deste trabalho.

## 5 ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresentará um estudo de caso dirigido de utilização do sistema de avaliação. O estudo foi realizado a partir da utilização do aplicativo por dois engenheiros, representantes de uma montadora de automóveis e de uma prestadora de serviços de automação, e dos relatórios finais gerados a partir das suas avaliações. Além disso, o capítulo também faz uma breve discussão sobre os resultados obtidos e uma análise de funcionamento do sistema dividida em *front-end* e *back-end*.

### 5.1 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Para realizar a validação da aplicação conforme sua utilização, foram escolhidos dois membros do grupo de pesquisa em Indústria 4.0 do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas- PPGEPS da PUCPR. O primeiro avaliador a utilizar o sistema de forma integral foi o pesquisador da indústria automobilística.

A avaliação foi feita no dia 17 de fevereiro de 2017. Primeiramente, foi realizada uma pequena apresentação sobre o aplicativo, sua estrutura e a forma de utilização. O trabalho de usuário foi relativamente fácil para o pesquisador, pois o mesmo já estava familiarizado com o modelo Capgemini e o método AHP.

A principal ideia dessa avaliação foi diagnosticar a maturidade tecnológica de uma das maiores montadoras de veículos do Brasil, o que foi possível porque o avaliador estava familiarizado com vários setores da empresa. A junção do conhecimento técnico do avaliador com sua familiaridade com o método e o modelo utilizados foi muito proveitosa para a realização da avaliação.

A discussão dos resultados obtidos pelo avaliador, assim como as análises da utilização do sistema feitas tanto pelo usuário quanto pelos autores estão apresentadas nos próximos dois subcapítulos.

O segundo avaliador é atualmente gerente técnico em uma empresa que presta serviços de soluções em automação para indústrias de médio e grande porte. Como gerente de uma empresa prestadora de serviços, o avaliador sempre está em contato com muitas indústrias de ponta no Brasil. Como também possui



conhecimentos em indústria 4.0 e no método AHP, ele se tornou a melhor opção para ser o segundo usuário do sistema de avaliação.

A segunda avaliação do aplicativo go44 foi realizada em 20 de fevereiro de 2017. Como na primeira avaliação, o futuro usuário foi exposto a uma pequena apresentação da ferramenta, sua estrutura e forma de utilização.

Esta avaliação foi um pouco mais complexa e aguardada. Como o usuário possui um conhecimento mais amplo da situação atual das indústrias do país, ele realizou a avaliação como um apanhado geral da atual conjuntura de dois tipos de indústrias: A indústria automotiva e a indústria de eletrodomésticos (popularmente conhecida como linha branca). Essas indústrias foram escolhidas pela estreita relação que o avaliador possui com as respectivas empresas e por serem duas das mais desenvolvidas linhas de produção existentes no país.

Os resultados obtidos pelo avaliador, bem como a análise da utilização do aplicativo estão apresentadas nos próximos dois subcapítulos.

## 5.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os valores obtidos nos resultados das avaliações nos ajudam a entender que uma análise isolada de apenas um usuário pode não ser precisa e segura para levar em conta toda uma fábrica ou empresa. Uma ideia que permuta ainda pelos planos de desenvolvimento futuro é de que possam ser feitas várias avaliações em cima da mesma empresa, por vários gestores e especialistas, formando um balanço geral de vários pontos de vista diferentes.

Mesmo tendo validado o modelo da Capgemini com o grupo de pesquisas sobre a Indústria 4.0 na PUCPR, ainda há muitas lacunas a ser preenchidas, como por exemplo, até que ponto vale considerar a tecnologia internacional *Mobile* para uma indústria nacional? Será que essa indústria necessitaria evoluir tanto a operação *Mobile* de sua fábrica se os demais setores se encontram defasados tecnologicamente a ponto de nem corresponderem com essa tecnologia?

Esse tipo de questionamento ajuda a entender as limitações da ferramenta em termos dos critérios avaliados no estado atual, e também possibilita modelar melhor sua proposta de valor e compreender quais recursos devem ser adicionados para o seu aprimoramento futuro.

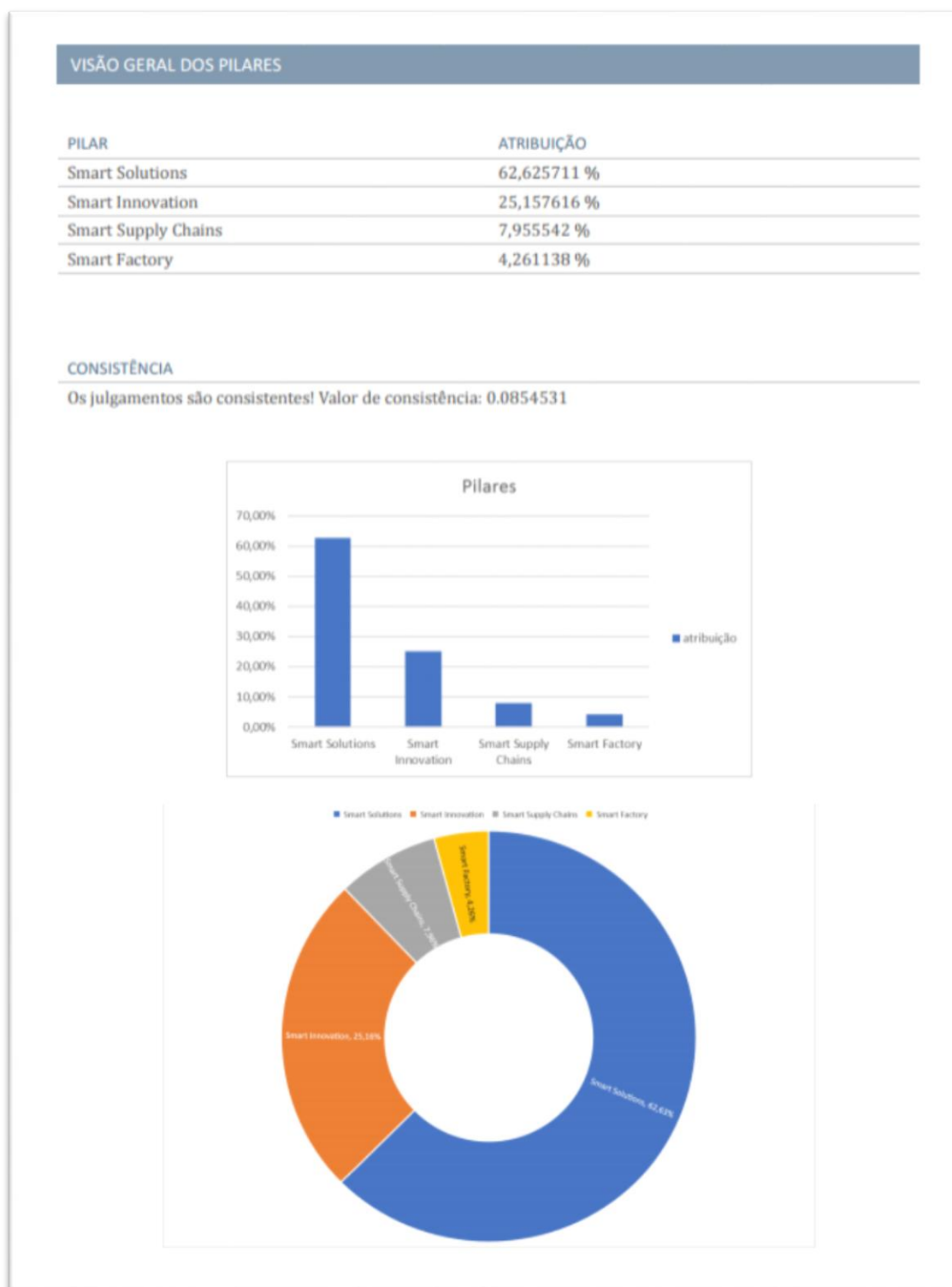
Os resultados mais específicos dos estudos de caso são detalhados nos próximos tópicos.

### 5.2.1 Avaliações

Comparando os relatórios finais de ambas as avaliações, é possível notar certas semelhanças de respostas e tecnologias igualmente distribuídas. Segundo o avaliador representante da empresa prestadora de serviços, isso acontece porque no Brasil dois pilares: *Smart Solutions* e *Smart Innovation* são muito mais desenvolvidos que os outros dois: *Smart Supply Chains* e *Smart Factory*. Essa diferença de desenvolvimento entre os pilares acontece justamente porque falta informação para uma evolução tecnológica mais homogênea. Segundo o avaliador, “As empresas tendem a desenvolver seus produtos e seus serviços, mas esquecem de desenvolver a cadeia de suprimentos ou a tecnologia ligada aos processos”.

Para o pesquisador da indústria automobilística, algumas tecnologias são bastante visadas pelos engenheiros brasileiros, enquanto outras passam despercebidas: “A robótica e a impressão 3D estão bem desenvolvidas dentro da montadora, porém ninguém conhece as plataformas comunitárias ou nuvem”.

As opiniões dos avaliadores refletem em suas avaliações, validando a ferramenta como um bom sistema diagnóstico. É possível confirmar esta teoria pelas Figuras 43 e 44:



**Figura 43 - Relação entre tecnologias**  
**Fonte: Autoria Própria.**

SMART SERVICES	
TECNOLOGIA	ATRIBUIÇÃO
Mobile	11,011577 %
Cloud	0,009367 %
M2M	10,797522 %
Advanced Analytics	13,224205 %
3D Printing	15,269998 %
Advanced Robotics	29,687336 %

**Figura 44 - Diferença entre Solutions, Innovation, Supply Chains e Factory**  
**Fonte: Autoria Própria.**

### 5.2.2 Consistência

As avaliações realizadas pelos responsáveis pelas empresas foram feitas enquanto o aplicativo ainda não tinha aviso de inconsistência, portanto, algumas vertentes apresentam inconsistência nestas avaliações (Figura 45). Isso não ocorre mais porque na nova versão do sistema, o usuário recebe uma notificação assim que for constatada inconsistência.

#### CONSISTÊNCIA

Os julgamentos são inconsistentes! Valor de inconsistência: 0.35937124

**Figura 45 - Exemplo de inconsistência constada no relatório final**  
**Fonte: Autoria Própria.**

### 5.3 ANÁLISE

A primeira versão de uma ferramenta inédita inserida em algum contexto visando inovação geralmente possui algumas falhas e erros que são corrigidos com as atualizações e novas versões. Tendo isto em mente, a utilização desta ferramenta torna-se necessária para que os erros possam ser identificados, assim como seus

pontos fortes exaltados e aprimorados a fim de gerar um processo de melhoria contínua que implica, no final, em um grande avanço tecnológico.

Assim, quando os usuários do sistema começam a utilizá-lo, é muito importante que eles possam gerar retorno (*feedback*) para ajudar a aprimorá-lo. É importante também que os desenvolvedores acompanhem as primeiras utilizações para auxiliar caso algum problema venha a ocorrer, e que possam ouvir os *feedbacks* para dar continuidade ao projeto.

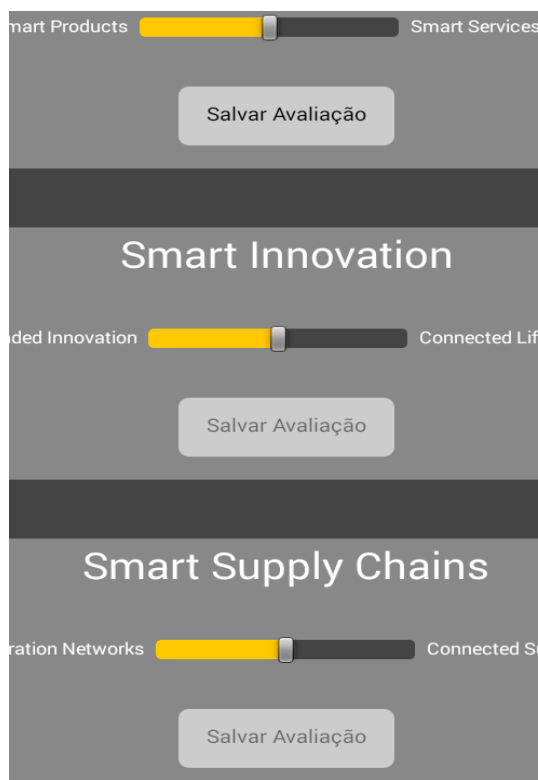
Aqui, são disponibilizadas análises em formato de *feedbacks* dos utilizadores, e também relatos de funcionamento do sistema. Essas análises foram divididas entre a experiência do usuário (*front end*) e a camada responsável pelo cálculo (*back end*).

### 5.3.1 Análise *Front End*

A experiência que o usuário que irá realizar a avaliação terá ao utilizar o aplicativo go44 sempre foi uma das propostas de maior valor deste trabalho. Um sistema simples e fácil, diferente da maior parte dos softwares de engenharia existentes no mercado, foi desde o começo do desenvolvimento o principal objetivo na relação de uso.

A implementação da parte utilizável do sistema foi realizada no software MIT App Inventor 2, que possui algumas limitações de design e de interface, porém, depois de alguns *bugs* detectados e corrigidos, o sistema fluiu normalmente.

O *front end* é composto por 9 telas e possui uma utilização sistemática e inflexível, pois o método de cálculo do AHP funciona de modo linear, ou seja, não é possível, por exemplo, voltar a avaliação (a não ser que haja inconsistência no cálculo). O usuário é levado por esse caminho linear por meio de intertravamento de botões para que a má utilização não afete o funcionamento do aplicativo, como visto na figura 48.



**Figura 46 - Inter travamento dos botões**  
**Fonte: Aatoria Própria**

A fluidez e simplicidade da experiência de usuário foram elogiadas pelos avaliadores, que também deram algumas sugestões para desafios futuros. Exemplos destas percepções são apresentadas na Tabela 3:

**Tabela 3- Feedback dos avaliadores.**

<b>Avaliador</b>	<b>Front-End</b>	<b>Textos</b>	<b>Avaliação</b>
<b>Avaliador 1</b>	Muitos botões, boa fluidez.	Bem escritos, porém extensos.	Pouco confusa para quem não conhece o método AHP.
<b>Avaliador 2</b>	Níveis de avaliação deixam o programa prático.	Bem escritos, botões de texto muito úteis.	Dinâmica, um pouco confusa pela existência dos <i>Slidders</i> .

**Fonte: Aatoria Própria**

### 5.3.2 Análise *Back End*

Em matéria de resultado, o aplicativo obteve respostas tão precisas quanto as respostas obtidas pelo software Super Decisions, pois sua escala de valores chega a seis casas após o último dígito inteiro. Tratando da resposta de compilação, o aplicativo foi capaz de gerar as matrizes com valores dos critérios na diagonal superior, os mesmos valores invertidos na diagonal inferior, os autovalores, porcentagens de resposta e valores de consistência em menos de um segundo (Figuras 47 e 48).

```

101     if(j>1) {
102         multiplicado = multiplicado * aux;
103     }
104     else multiplicado = aux;
105 }
106 auto_vetor[i]=pow(multiplicado, 1.0/c); cout<<" \nResultado Auto Vetor["<<i<<": " <<auto_vetor[i]<<"\n";
107 total_auto_vetor = total_auto_vetor+auto_vetor[i];
108 }cout<<"\nResultado Auto Vetor TOTAL: " <<total_auto_vetor;
109 cout<<"\n";system("PAUSE");cout<<"\n";
110 //-----
111
112 // VETORES NORMALIZADOS
113 for(int i=1;i<=c;i++){
114     x=auto_vetor[i];
115     y=total_auto_vetor;
116     perc_vetor[i]= (x/y)*100;    cout<<"\nAutoVetor normalizad
117     total_perc_vetor = total_perc_vetor+perc_vetor[i];
118 }cout<<"\nSoma dos vetores normalizados: " <<total_perc_vetor;
119 cout<<"\n";system("PAUSE");cout<<"\n";
120 //-----
121
122 // AUTO-VALORES
123 float somado[c], total_auto_valor=0, auto_valor[c];
124 for(int j=1;j<=c;j++){
125     somado[j]=0;
126     for(int i=1;i<=c;i++){
127         somado[j] = somado[j] + MAT[i][j];
128     }
129     auto_valor[j]=somado[j]; cout<<" \nResultado Auto Valor["
130     total_auto_valor = total_auto_valor+auto_valor[j];
131
132 }cout<<"\nResultado Auto Valor TOTAL: " <<total_auto_valor;
133 cout<<"\n";system("PAUSE");cout<<"\n";
134 //-----
135

```

```

C:\Users\venna\Documents\DevCppProjects\tcc\tcc3.exe
Press any key to continue . . .

Lambda: 4.25158
Press any key to continue . . .

Índice de Consistencia: 0.0838586
Press any key to continue . . .

Índice Randomico de Saaty: 0.9
Press any key to continue . . .

Razao de Consistencia: 0.0931763

Os julgamentos sao Coerentes!
Press any key to continue . . .

```

Figura 47 - Precisão dos valores

Fonte: Autoria Própria.

```

1  #include<iostream>
2  #include<vector>
3  #include<string>
4  #include<stdio.h>
5  #include<fstream>
6  #include<sstream>
7  #include<math.h>
8  using namespace std;
9
10 int main (){
11     //File-----
12     ifstream inFile;
13     inFile.open("AppInventor.txt");
14     //Check For Error
15     if (inFile.fail()){
16         cerr<<"Error Opening File";
17         exit(1);
18     }
19     //Diz o número de critérios
20     int c;
21     inFile>>c;
22     //-----
23
24     /* c = numero de critérios escolhidos
25     valor = variável que diz quantos termos a diagonal superior a matriz vai t
26     v_superior = valores da diagonal superior convertidos em um VETOR
27     v_inferior = valores da diagonal inferior convertidos em um VETOR
28     mat_s = matriz contendo os valores da diagonal superior
29     mat_i = matriz contendo os valores da diagonal inferior
30     MAT = Matriz principal contendo a junção da superior com a inferior */
31
32
33     //USUARIO ESCOLHE O VALOR DO NUMERO DE CRITERIOS
34     float mat_s[c][c], mat_i[c][c];
35     //CALCULA QUANTOS TERMOS (quantas comparacoes) TERAO A DIAGONAL SUPERIOR (
36     int valor=0, valorAnterior=0;
37     for(int x=1; x<=c; x++){
38         valorAnterior=valor;
39         valor=valorAnterior+(x-1);
40     }
41     //-----

```

```

C:\Users\venna\Documents\DevCppProjects\tcc\tcc_final.exe
-----
Process exited after 0.1547 seconds with return value 0
Press any key to continue . . .

```

**Figura 48 - Velocidade de execução, considerando apenas o método AHP**

Fonte: Autoria Própria.

Infelizmente, como a troca de dados entre *front end* e *back end* se deu por transferência de arquivos de texto (.txt) o tempo de criação dos arquivos de dados de *input*, somado com o tempo de criação dos arquivos de dados do *output* tornou a resposta dos resultados finais na tela do *tablet* bem mais lenta do que o esperado. De cerca de 0.186 segundos para a criação de uma matriz de seis critérios, com a junção *back end* / *front end* o aplicativo demorou por volta de 7 segundos para todo o processo de criação de arquivos.

Este problema deve ser solucionado em versões futuras quando tanto a entrada de dados quanto as contas do algoritmo estiverem habitando a mesma plataforma, sem necessidade de trabalharem em conjunto, eliminando o uso da ferramenta AppInventor2.



Ajustar os valores dos “*slidders*” (barras de rolamento) do *front end* para que as contas do algoritmo do aplicativo pudessem ser interpretadas corretamente foi um desafio (Figura 49). Como o AHP faz comparações de critérios dois a dois com nivelamento de um até nove, os *slidders* que apresentam o valor escolhido pelo usuário foram divididos em 17 valores, onde os nove primeiros valores são os resultados que dão menor peso ao critério da esquerda, o valor do meio que representa o empate entre os dois critérios ou o número 1, e os últimos nove valores que representam o maior peso para o critério da esquerda.

The image shows a user interface titled "Smart Products" for pairwise comparison. It features six horizontal sliders, each with a yellow segment on the left and a grey segment on the right, and a central slider knob. The sliders are labeled as follows:

- Mobile vs. Cloud
- Mobile vs. M2M
- Mobile vs. Adv. Analytics
- Cloud vs. M2M
- Cloud vs. Adv. Analytics
- M2M vs. Adv. Analytics

At the bottom of the interface is a yellow button labeled "Salvar Avaliação".

**Figura 49 - Avaliação, critério da esquerda em relação ao da direita**  
**Fonte: Autoria Própria.**

A solução para os *slidders* já está sendo trabalhada, diminuindo um pouco a experiência analógica do usuário e substituindo os valores dos critérios a serem comparados por números, um formato de input digital.

Durante os estudos de caso foi possível perceber as dificuldades de interpretação dos usuários do aplicativo e como isso acarretou em valores inconsistentes das comparações nas respostas finais.

No primeiro estudo de caso o usuário teve dificuldades em entender as métricas dos *slidders*, e por isso suas comparações foram pouco precisas, resultando em erros de Inconsistência. Além disso, a tela final de demonstração de resultado estava com um erro de funcionamento para dispor os valores de resultados obtidos.

O loop *while* do programa ApplInventor2 estava interpretando errado o valor dos arquivos usados para leitura destes valores de resposta.

Para o segundo estudo de caso o erro da tela de resposta foi contornado e a tela passou a funcionar. Isso foi possível utilizando procedimentos para apontar para os valores dos arquivos de forma mais direta e com isso o loop *while* para as respostas foi desconsiderado.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6.1 CONCLUSÕES

A principal proposta deste trabalho foi levantar as informações relevantes sobre Indústria 4.0 e criar um sistema para auxiliar os interessados a posicionar suas empresas dentro deste contexto. A própria definição de quarta revolução industrial ainda não é unanimidade no meio acadêmico, o que dificulta muito o trabalho. O modelo atual da consultoria Capgemini parece ser um ótimo referencial inicial e pode ser bem explorado, proporcionando resultados pertinentes sobre esse tema recém explorado, servindo muito bem para esta pesquisa e desenvolvimento.

Os relatórios estudados neste projeto trazem uma informação preocupante. O Brasil parece estar entre os piores países para o desenvolvimento da quarta revolução industrial. Isso significa que, se o país quiser continuar competitivo frente a produção internacional, precisará de um guia de evolução tecnológica. Este é um fato que valida ainda mais a pesquisa aqui realizada.

No estudo de caso, ficou demonstrado que o modelo Capgemini-AHP concebido tem potencial para diagnosticar o nível de maturidade de uma indústria. Porém, para que isso seja possível, o avaliador precisa conhecer muito bem os processos da empresa avaliada. Se este for o caso, será muito improvável o aparecimento de inconsistências na avaliação.

A avaliação sendo desenvolvida em plataforma Android para dispositivos móveis não se mostrou tão vantajosa quanto se imaginava. A inconsistência dos aplicativos pode se tornar um problema à medida que o sistema evolui e seu banco de dados cresce.

Salvo o software utilizado para desenvolvimento *front end* que apresentou problemas, as outras ferramentas utilizadas para desenvolvimento do sistema mostraram-se robustas o suficiente para trabalhar com o código desenvolvido.

Os resultados das comparações no sistema go44 são mais precisos e confiáveis do que no próprio Super Decisions (Software referência em avaliação AHP), o que torna o algoritmo muito interessante para utilização para fins de tomada de decisão multicritério.

A indústria brasileira parece introduzir vagarosamente o conceito de Indústria 4.0 em suas linhas de produção, o que de maneira nenhuma invalida o uso do aplicativo Go44. Ao contrário, o sistema pode e deve ser utilizado para identificar problemas mais sérios na estrutura tecnológica da empresa e assim apontar o curso de uma evolução mais assertiva.

## 6.2 DIFICULDADES E DESAFIOS FUTUROS

A maior dificuldade encontrada na realização deste trabalho vai de encontro com a maior dificuldade do cenário tecnológico industrial mundial atualmente: uma padronização do conceito de Indústria 4.0. Apesar da base tecnológica estar bem definida, o conceito ainda precisa ser evoluído em suas aplicações nos níveis mais gerenciais para que a implementação seja mais assertiva.

Apesar do método AHP se mostrar eficiente para a realização do cálculo do nível de maturidade, ficou claro que por ser um método pouco difundido em meios não acadêmicos e de entendimento não tão trivial, os avaliadores terão um pouco de dificuldade para compreender o resultado obtido. Isso pode ser contornado com versões futuras, recebendo *feedbacks* úteis da experiência de usuário e das respostas finais de pessoas que não são familiarizadas com os conceitos.

Mesmo focando em um design simples, algumas dúvidas surgiram nos usuários durante as primeiras utilizações. Questões simples como cores de botões, avanços de janela e caixas de texto podem dificultar muito a avaliação e até mesmo influenciar na resposta final se não ficarem claras e bem desenvolvidas. Esse problema continua sendo resolvido no desenvolvimento de melhoria contínua. Uma ideia para contornar essa dificuldade de entender em qual nível AHP e qual vertente do pilar analisado o usuário está fazendo sua comparação, é a implementação de um mapa no canto das telas, ajudando ele a se situar em sua análise.

Uma dificuldade recorrente durante o desenvolvimento do sistema foram os *bugs*. A plataforma de criação do *front end* acabou se revelando não muito estável, e como o foco do desenvolvimento era o algoritmo e a engenharia por trás do funcionamento (*back end*), a programação acabou ficando em segundo plano, o que atrasou as entregas. Por isso o próximo passo mais provável, como já citado no

capítulo 5.3.2, será a migração do *front end* e *back end* para a mesma plataforma de desenvolvimento.

Talvez o maior desafio para a posterioridade será o desenvolvimento de mais variedade de propostas de valor. O sistema funciona muito bem como um avaliador diagnóstico atual, porém pode ser evoluído, por exemplo, para um sistema diagnóstico do nível de maturidade completo.

A melhoria contínua também é importante. A cada nova avaliação, o sistema recebe *feedbacks* de funcionamento que serão de grande valia para as próximas atualizações. A ideia é que qualquer pessoa consiga utilizá-lo

Por fim, mas não menos importante, a continuação do trabalho com a equipe de desenvolvimento para transformar o sistema em inovação tecnológica, e tornar-se referência no diagnóstico e na pesquisa dos temas relacionados a quarta revolução industrial.

## REFERÊNCIAS

ACATECH POSITION PAPER. **Cyber-physical systems. Driving force for innovation in mobility, health, energy and production.** Acatech—National Academy of Science and Engineering, 2011.

ACATECH POSITION PAPER. **Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0.** Acatech—National Academy of Science and Engineering, 2013.

BLOG DA QUALIDADE. **Por que o tático deve ser bilingue?** São Paulo, Brasil. Disponível em: <<http://www.blogdaqualidade.com.br/execucao-por-que-o-tatico-deve-ser-bilingue/>> Acesso em: 05 out. 2016.

BOSCH INC. **Bosch Software Innovations.** Berlin, Germany (2012). Disponível em: <<https://www.bosch-si.com>> Acesso em: 09 set. 2016.

CAPGEMINI CONSULTING. **Industry 4.0 – The Capgemini Consulting View.** Capgemini, 2014. Disponível em: [www.capgemiconsulting.com](http://www.capgemiconsulting.com). Acesso em: 10 ago 2016.

FEIMEC- Feira Internacional de Máquinas e Equipamentos. **Manufatura Avançada: e-book.** São Paulo, 2016.

GYRARD, A; BONNET, C; BOUDAUD, K. **Enrich machine-to-machine data with semantic web technologies for cross-domain applications.** IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), 2014. p. 559–564.

GOOGLE INC. **Fusion Tables by Google Docs.** Mountain View, Califórnia. Disponível em <[www.fusiontables.google.com](http://www.fusiontables.google.com)>. Acesso em: 16 ago. 2016.

HERMANN, M; PENTEK, T; OTTO, B. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review.** Disponível em: [http://www.snom.mb.tu-dortmund.de/cms/de/forschung/Arbeitsberichte/Design-Principles-for-Industrie-4\\_0-Scenarios.pdf](http://www.snom.mb.tu-dortmund.de/cms/de/forschung/Arbeitsberichte/Design-Principles-for-Industrie-4_0-Scenarios.pdf). Acesso em: 15 out. 2016.

IVANOV, D; DOLGUI, A; SOKOLOV, B; WERNER, F; IVANOV, M. **A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0x**. International Journal of Production Research. 2015.

LIAO, Y; LOURES, E. R; CANGIOLIERI JUNIOR, O; PANETTO, H. A Novel Approach for Ontological Representation of Analytic Hierarchy Process. **Advanced Materials Research**. 945-949, pp.675-682. 2014.

LOURES, E. F. R. **Decision Making Methods in Interoperability Assessment**. 2015. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas-PPGEPS, Grupo IAAS. Curitiba, 2015.

MICROSOFT OFFICE EXCEL Server for Windows 10. Version 1.0. Microsoft Corporation, 2016.1 CD-ROM.

MIT; GOOGLE INC. **App Inventor for Android**. Cambridge, Massachussets Disponível em: < [www.ai2.appinventor.mit.edu](http://www.ai2.appinventor.mit.edu) > Acesso em: 10 mai. 2016.

MOSTERMAN, P. J; ZANDER, J. **Industry 4.0 as a Cyber-Physical System study**. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2015.

ORWELL DEV CPP. **Dev C++ Software**. Palo Alto, Califórnia. Disponível em: <<http://orwelldevcpp.blogspot>> Acesso em: 09 set. 2016.

POSADA, J; TORO, C; BARANDIARAN, I; OYARZUN, D; STRICKER, D; de AMICIS, R; PINTO, E.B.; EISERT, P.; DOLLNER, J.; VALLARINO, I. Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet. **Computer Graphics and Applications**, IEEE., 2015. p. 26-40.

ROKOU, E. **Many Hands Make Work Light Or Not? A Novel Tool For Group Decision MAKing With ANP**. School of Medical Engineering, National Technical University of Athens. Atenas, Grécia, 2011.

SAATY, T. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. North-Holland. **European Journal of Operational Research** 48,1990.

SABAEI, D; ERKOYUNCU, J; ROY, R. A review of multi-criteria decision making methods for enhanced maintenance delivery. **Elsevier**. v.37, p. 30-35. 2015.

SCHMIDT, R; MOHRING, M; HARTING, R; REICHSTEIN, C; NEUMAIER, P; JOZINOVIÉ, P. Industry 4.0 – Potentials for Creating Smart Product: Empirical Research Results. **Springer International Publishing Switzerland**. p. 16–27. 2015

SUPERDECISIONS. **Superdecisions Software**. Pensilvânia, Filadélfia. Disponível em: <<http://www.superdecisions.com>> Acesso em: 05 set. 2016.

TEKNOMO, K. **Analytic Hierarchy Process (AHP) tutorial**. Quezon City, Philippines (2006). Disponível em: < <http://people.revoledu.com/kardi/tutorial/AHP/> > Acesso em: 10 mai. 2016.

VERMESSAN, O; FRIESS, P. **Internet of Things: From Research and Innovation to Market Deployment**. ed. River Publishers, 2014.



## **APÊNDICE A- RELATÓRIO FINAL DE AVALIAÇÃO**



# RELATÓRIO FINAL DE AVALIAÇÃO

## RESUMO DA AVALIAÇÃO

DATA DO RELATÓRIO	TIPO DA AVALIAÇÃO	PREPARADO POR
21 de fevereiro de 2017	Standard	Guilherme L. Brezinski

## AVALIADOR

EMPRESA	CARGO	NOME
Dominus	Gerente Técnico	Maicon Saturno

## SOBRE

Relatório Final de Avaliação

Plataforma G044- v 1.0

Sistema de avaliação de maturidade industrial baseando-se nos conceitos da indústria 4.0;

Relatório técnico referente a avaliação dos seguintes parâmetros:

- Pilares;
- Nível Tático;
- Nível Operacional;
- Nível atual de Capabilidade;

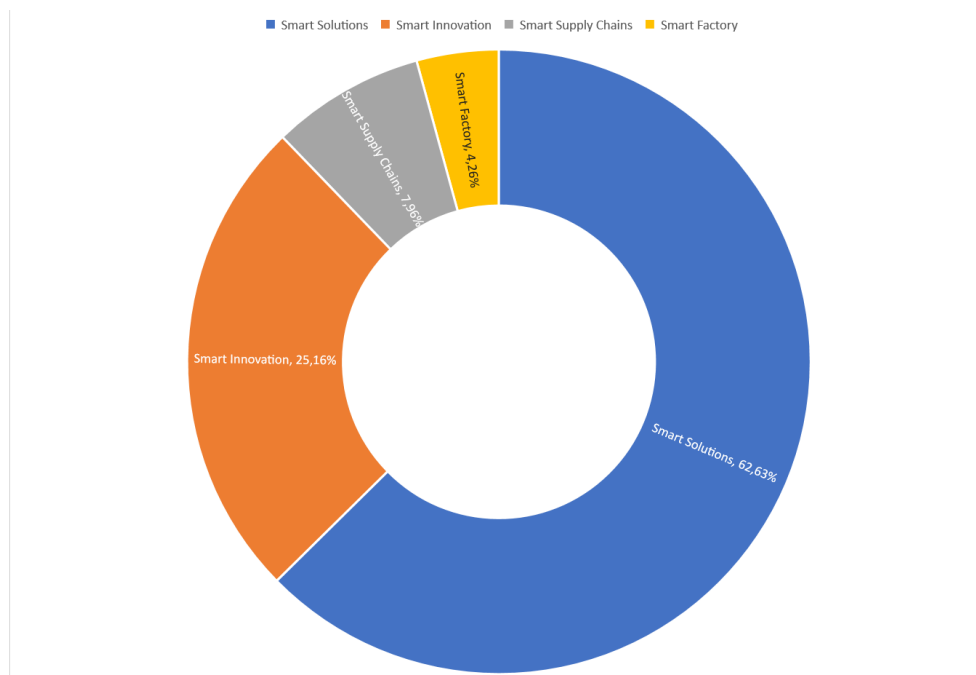
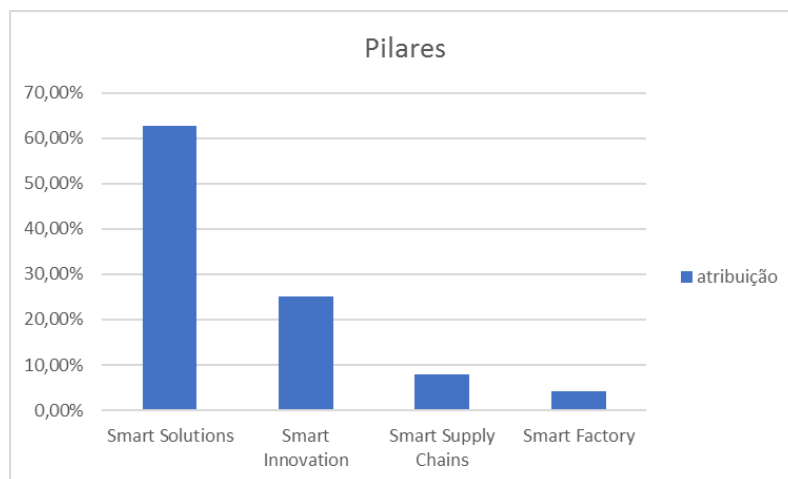
Proibida reprodução;  
Todos os direitos reservados.

## VISÃO GERAL DOS PILARES

PILAR	ATRIBUIÇÃO
Smart Solutions	62,625711 %
Smart Innovation	25,157616 %
Smart Supply Chains	7,955542 %
Smart Factory	4,261138 %

## CONSISTÊNCIA

Os julgamentos são consistentes! Valor de consistência: 0.0854531

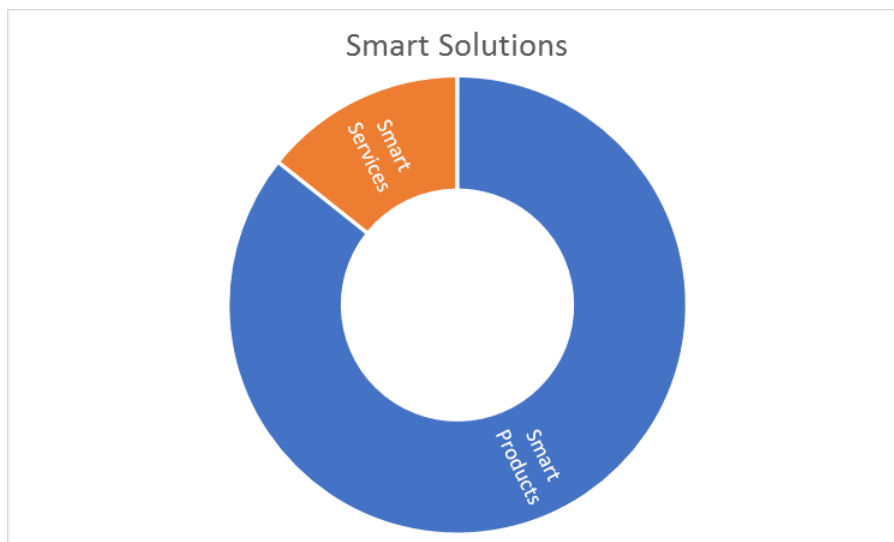


## VISÃO GERAL DO NÍVEL TÁTICO

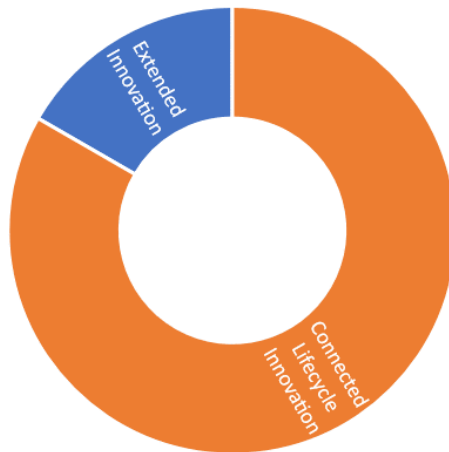
VERTENTE	ATRIBUIÇÃO
Smart Solutions	
Smart Products	85,714264 %
Smart Services	14,285739 %
Smart Innovation	
Extended Innovation	16,666666 %
Connected Lifecycle Innovation	83,333333 %
Smart Supply Chains	
Agile Collaboration Networks	25,0 %
Connected Supply Chain	75,0 %
Smart Factory	
Decentralized Production Control	16,666666 %
Data-Driven Operational Excellence	83,333333 %

## CONSISTÊNCIA

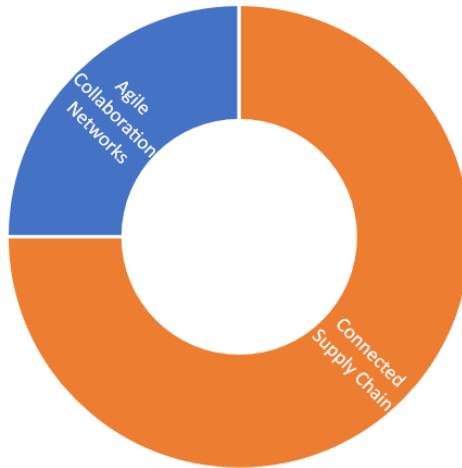
Os julgamentos são consistentes! (Julgamento entre dois critérios)



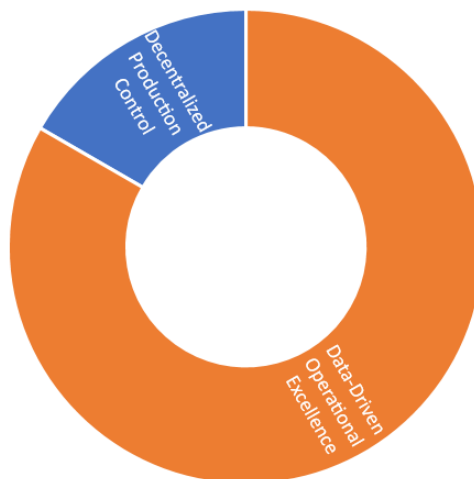
### Smart Innovation



### Smart Supply Chains



### Smart Factory



## VISÃO GERAL DO NÍVEL OPERACIONAL

No nível operacional, as tecnologias foram separadas por vertentes tecnológicas de cada pilar. Isso é necessário para que seja possível visualizar o conteúdo tecnológico de cada vertente da sua empresa separadamente, e assim poder tomar decisões estratégicas baseadas em diferentes setores.

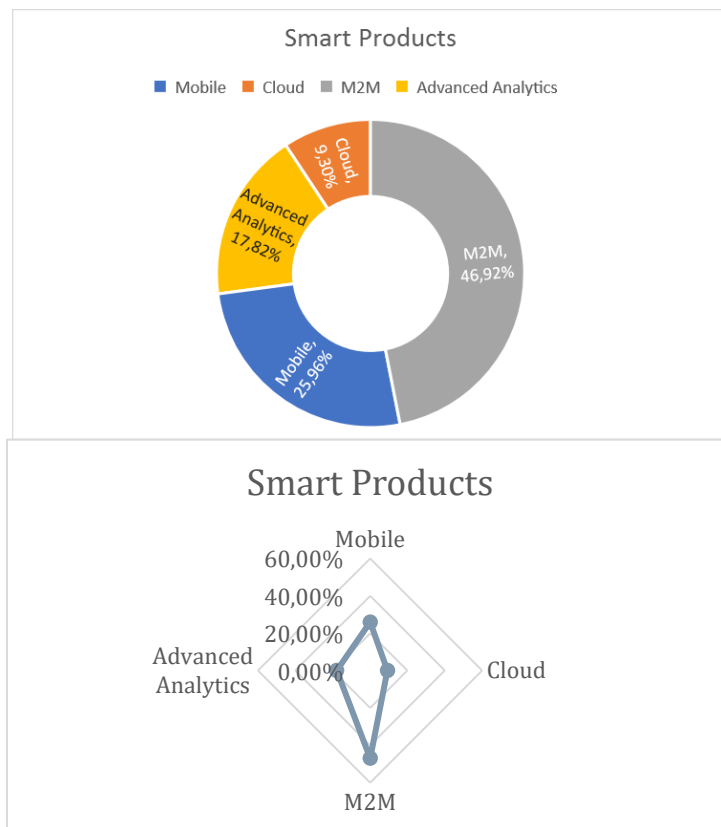
## SMART SOLUTIONS

## SMART PRODUCTS

TECNOLOGIA	ATRIBUIÇÃO
Mobile	25,960667 %
Cloud	9,298843 %
M2M	46,9162 %
Advanced Analytics	17,824295 %

## CONSISTÊNCIA

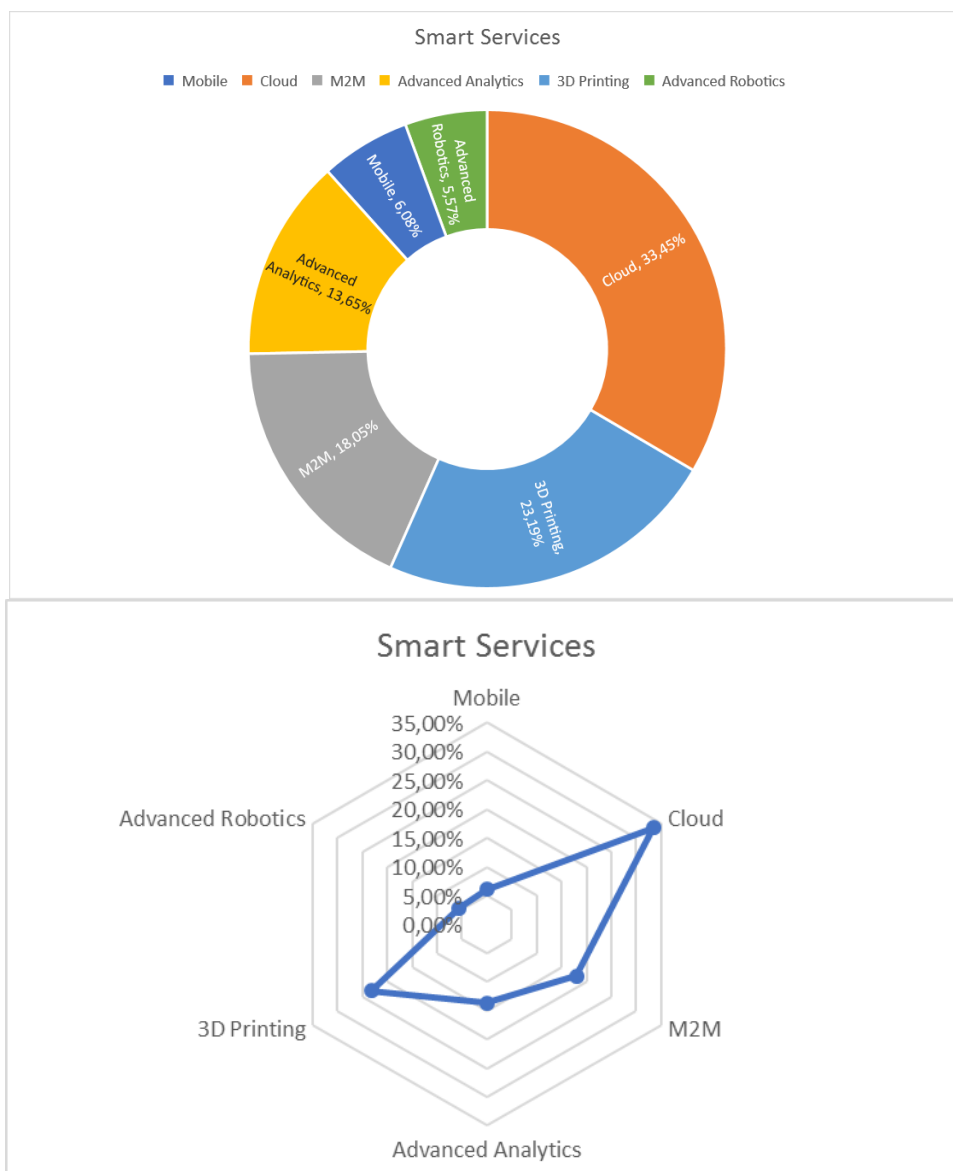
Os julgamentos são inconsistentes! Valor de inconsistência: 0.18788232



TECNOLOGIA	ATRIBUIÇÃO
Mobile	6,0825734 %
Cloud	33,447586 %
M2M	18,04909 %
Advanced Analytics	13,654915 %
3D Printing	23,19125 %
Advanced Robotics	5,5745916 %

CONSISTÊNCIA

Os julgamentos são consistentes! Valor de consistência: 0.08290275



## SMART INNOVATION

## EXTENDED INNOVATION

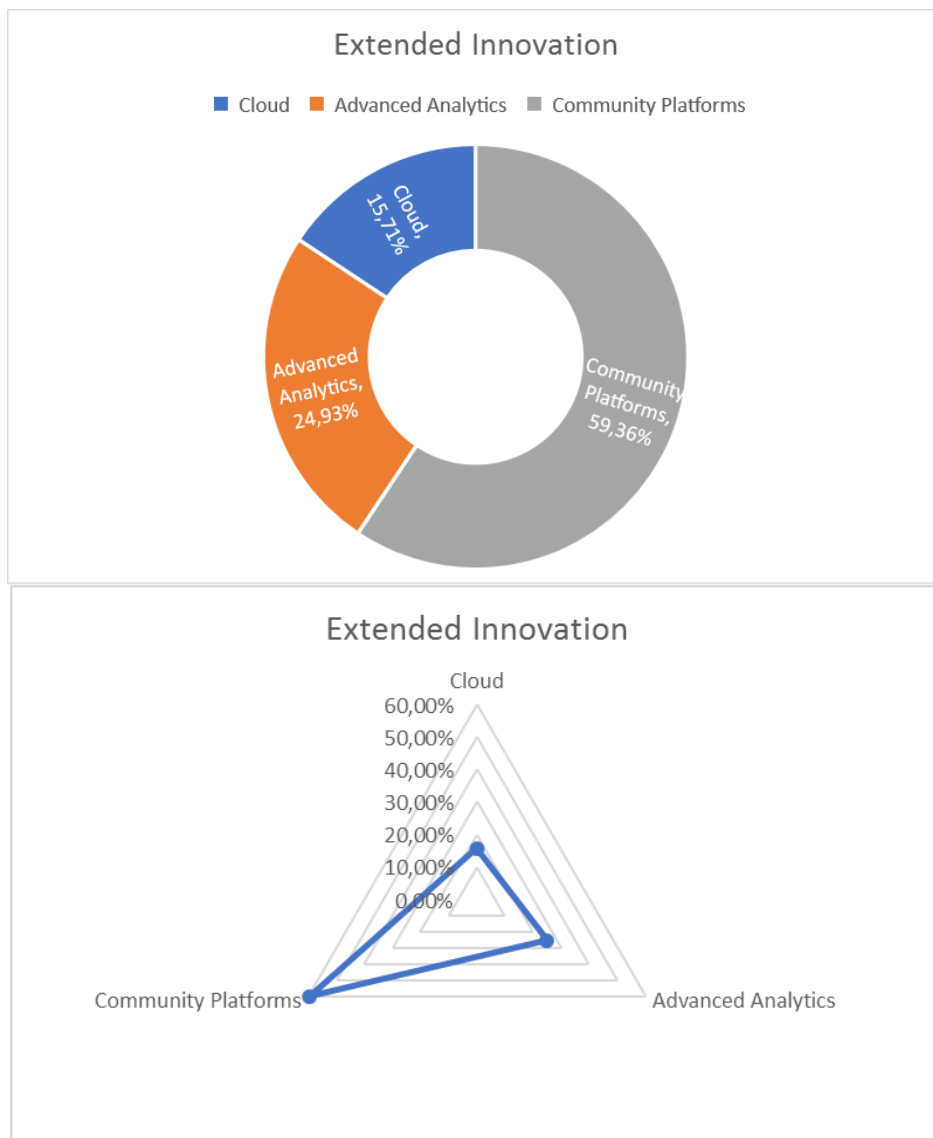
### TECNOLOGIA

### ATRIBUIÇÃO

Cloud	15,70558 %
Advanced Analytics	24,931053 %
Community Platforms	59,363373 %

### CONSISTÊNCIA

Os julgamentos são consistentes! Valor de consistência: 0.046225663

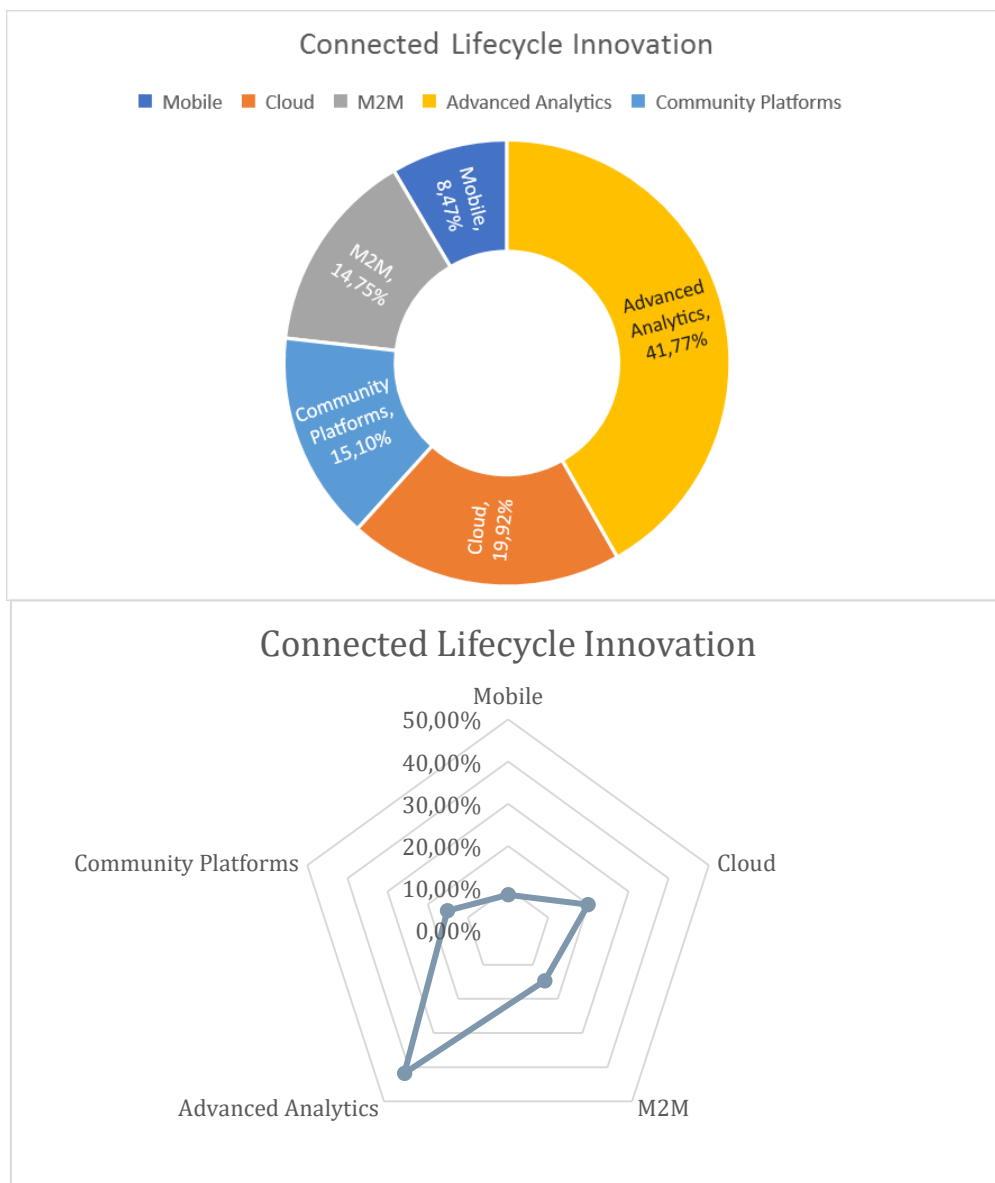




TECNOLOGIA	ATRIBUIÇÃO
Mobile	8,469467 %
Cloud	19,921524 %
M2M	14,7462 %
Advanced Analytics	41,765114 %
Community Platforms	15,09769 %

CONSISTÊNCIA

Os julgamentos são inconsistentes! Valor de inconsistência: 0.10639951



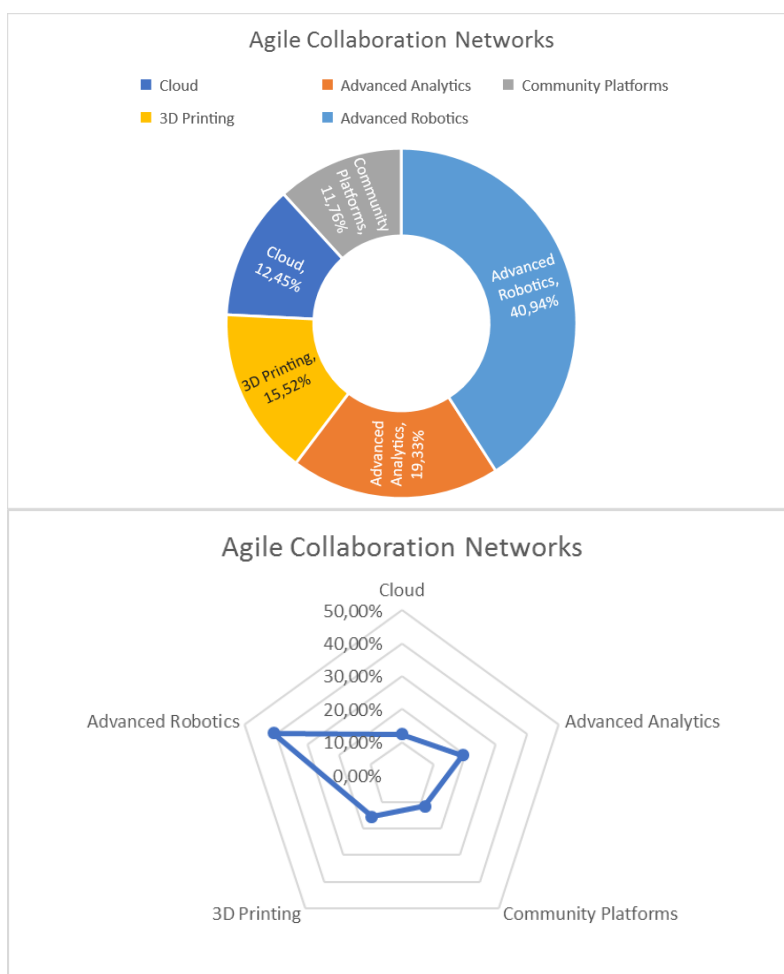
## SMART SUPPLY CHAINS

## AGILE COLLABORATION NETWORKS

TECNOLOGIA	ATRIBUIÇÃO
Cloud	12,454591 %
Advanced Analytics	19,327602 %
Community Platforms	11,758224 %
3D Printing	15,515068 %
Advanced Robotics	40,94451 %

### CONSISTÊNCIA

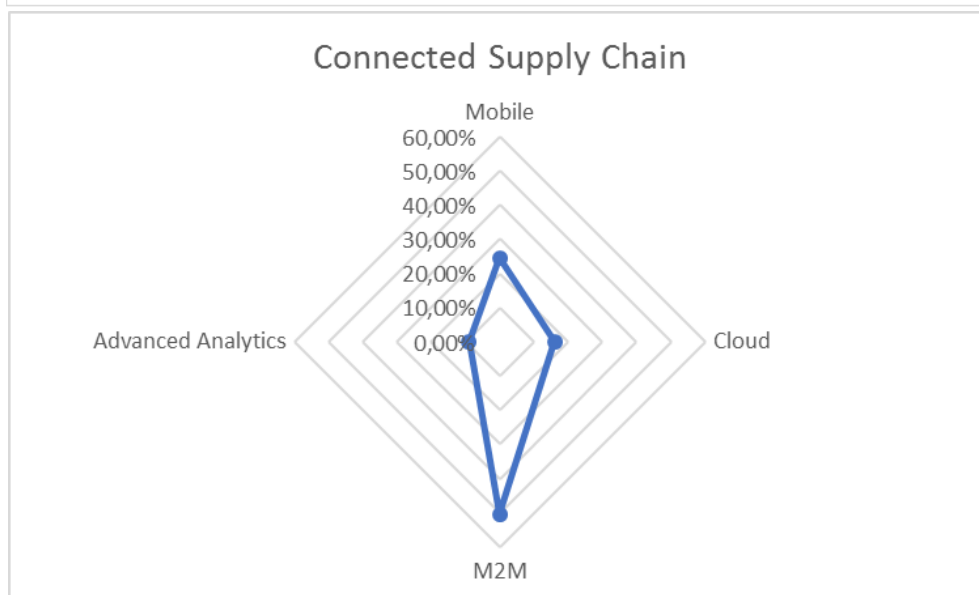
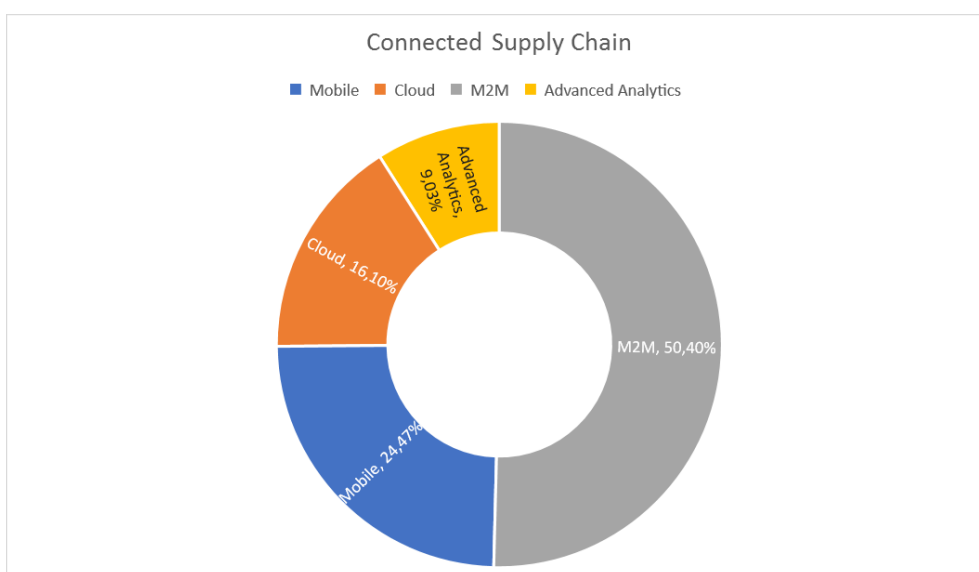
Os julgamentos são inconsistentes! Valor de inconsistência: 0.11520226



TECNOLOGIA	ATRIBUIÇÃO
Mobile	24,469637 %
Cloud	16,101925 %
M2M	50,401752 %
Advanced Analytics	9,026692 %

CONSISTÊNCIA

Os julgamentos são consistentes! Valor de consistência: 0.086003765



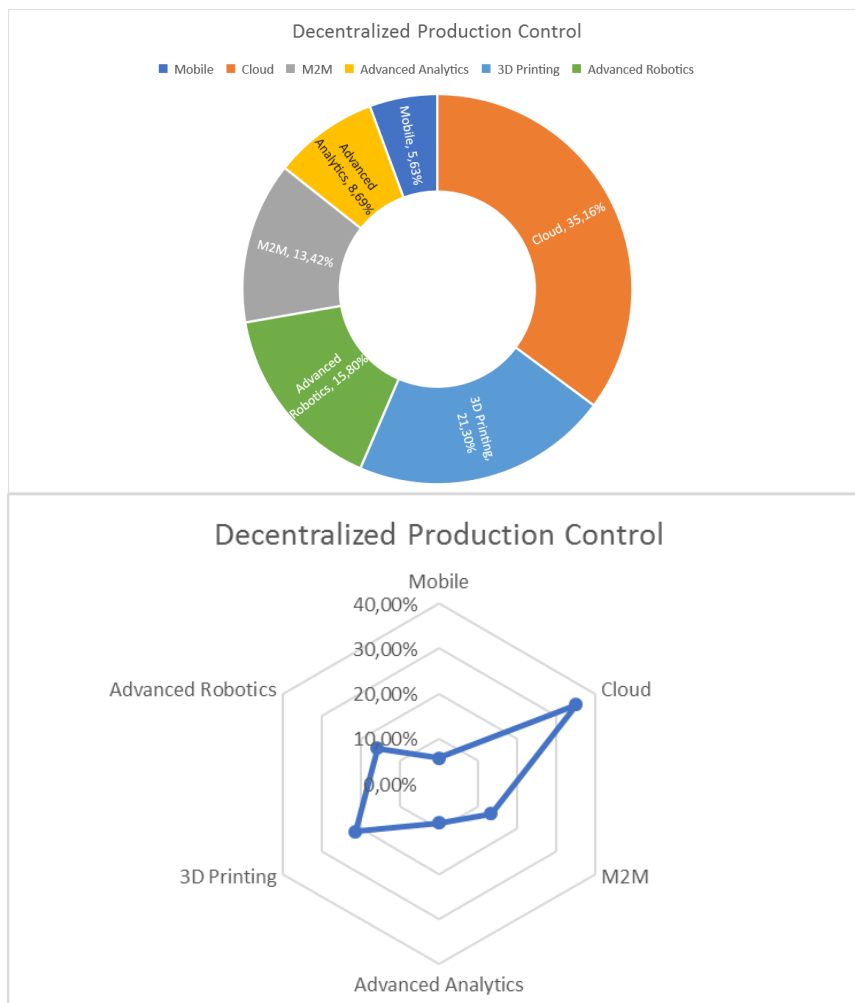
## SMART FACTORY

### DECENTRALIZED PRODUCTION CONTROL

TECNOLOGIA	ATRIBUIÇÃO
Mobile	5,634385 %
Cloud	35,160004 %
M2M	13,416043 %
Advanced Analytics	8,694314 %
3D Printing	21,29664 %
Advanced Robotics	15,798616 %

### CONSISTÊNCIA

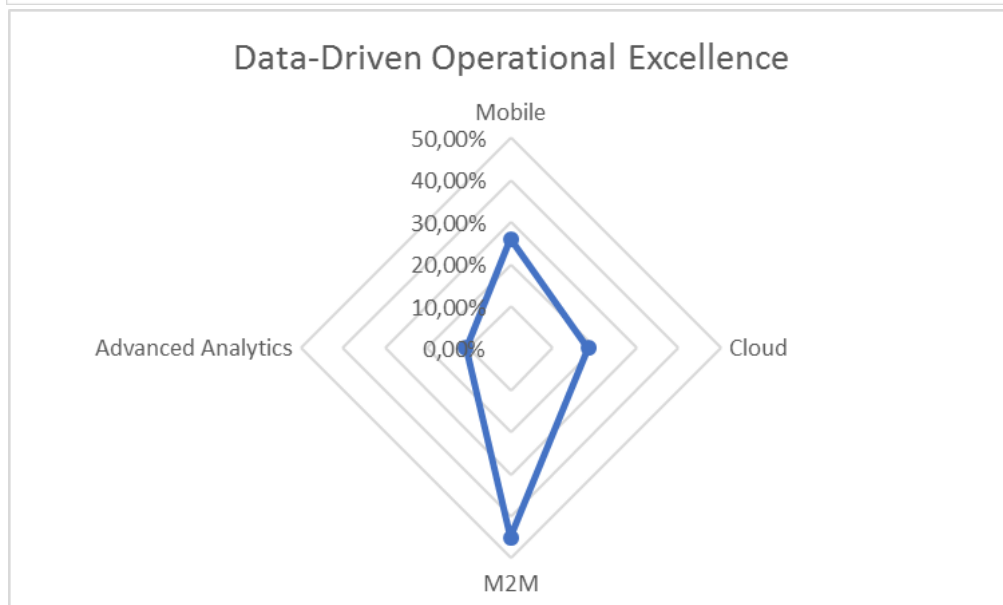
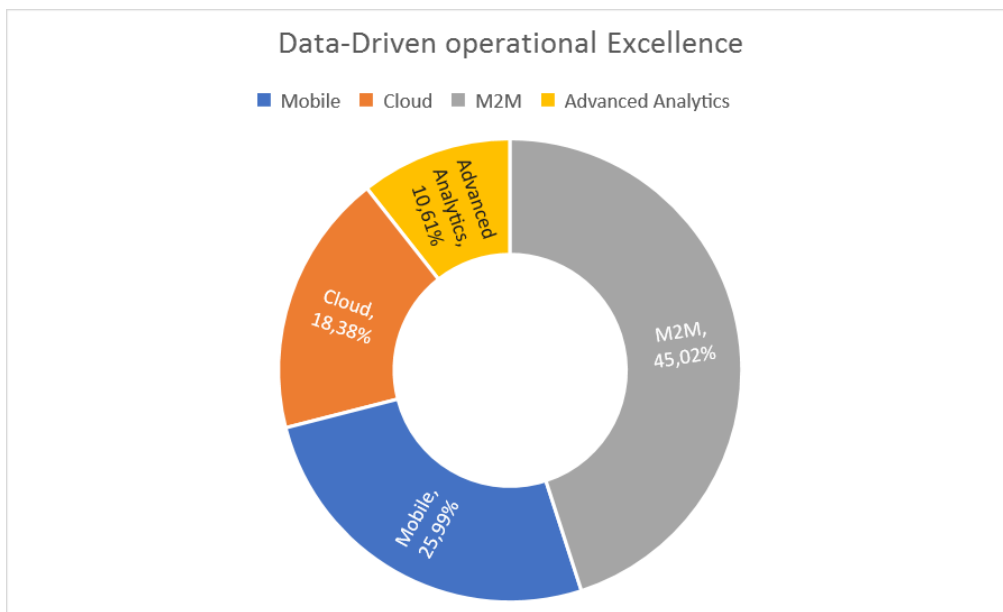
Os julgamentos são consistentes! Valor de consistência: 0.09212194



TECNOLOGIA	ATRIBUIÇÃO
Mobile	25,991535 %
Cloud	18,378796 %
M2M	45,018673 %
Advanced Analytics	10,610994 %

CONSISTÊNCIA

Os julgamentos são consistentes! Valor de consistência: 0.049646698



## RELATÓRIO DE FALHAS

PROBLEMA	ATRIBUÍDO A	DATA
Falha na matriz de cálculo	\app-release.apk	21/02/2017

## CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

### Pilares:

Julgamento Consistente

### Nível Tático:

Julgamento Consistente

### Nível Operacional:

Inconsistência nas seguintes vertentes:

Smart Products

Connected Lifecycle Innovation

Agile Collaboration Networks

### Capabilidade:

TECNOLOGIA	SITUAÇÃO
Mobile	Parcialmente atende
Cloud	Não atende
M2M	Parcialmente atende
Advanced Analytics	Parcialmente atende
Community Platforms	Parcialmente atende
3D Printing	Não atende
Advanced Robotics	Parcialmente atende