

## Modelo de avaliação de sistemas legado em processos de transformação digital na indústria 4.0

André Luiz Alcântara Castilho Venâncio (PUCPR) [andre.venancio@pucpr.edu.br](mailto:andre.venancio@pucpr.edu.br)

Guilherme Louro Brezinski (PUCPR) [guilherme.brezinski@pucpr.edu.br](mailto:guilherme.brezinski@pucpr.edu.br)

Eduardo de Freitas Rocha Loures (PUCPR) [eduardo.loures@pucpr.br](mailto:eduardo.loures@pucpr.br)

Fernando Deschamps (PUCPR) [fernando.deschamps@pucpr.br](mailto:fernando.deschamps@pucpr.br)

### Resumo:

Objetivando a performance no mercado, indústrias vem tomando ações para se adequar ao movimento da Indústria 4.0. Nessa transição os sistemas existentes, importantes para a organização e que não conseguem acompanhar o processo de transformação digital passam a ser considerados legados. Esforços da comunidade científica e das organizações propõe a adesão de uma camada sensorial a estes sistemas, tornando-os mais responsivos adquirindo capacidade de análise de dados (*feedbacks*) em tempo real e incorporação de inteligência, possibilitando ações preditivas - característica essencial da Indústria 4.0. Porém essa transformação digital nos sistemas, sem um planejamento adequado pode resultar em uma resposta negativa de desempenho para a organização. Este artigo defende que o primeiro passo para a transformação digital nos sistemas legado é entender se todos os sistemas da organização necessitam ser otimizados ou, a priori, se é a hora correta de se tomar ações que envolvam sua alteração. Portanto propõe-se investigar se é factível transformar o sistema legado LS (*Legacy System*) em um sistema legado inteligente SLS (*Smart Legacy System*) através de uma abordagem baseada no método de análise multicritério e apoio a tomada de decisão - o AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

**Palavras chave:** Sistemas Legado, Indústria 4.0, Avaliação multicritério, AHP.

## Evaluation model of legacy systems on digital transformation processes in industry 4.0

### Abstract:

Aiming at performance in the market, industries have been taking actions to suit the movement of the Industry 4.0. In this transition, existing systems, important to the organization and which cannot keep up with the digital transformation process are considered legacy. Efforts of the scientific community and organizations propose the adherence of a sensory layer to these systems, making them more responsive by acquiring real-time feedback capabilities and incorporating intelligence, enabling predictive actions - an essential feature of Industry 4.0. However, this digital transformation in systems without proper planning can result in a negative performance response to the organization. This article argues that the first step for digital transformation in legacy systems is to understand whether all systems in the organization need to be optimized or, a priori, whether it is the correct time to take action that involves their change. It is therefore proposed to investigate whether it is feasible to transform the legacy system (LS) into a Smart Legacy System (SLS) through a multicriteria analysis approach and decision-making support - the AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

**Key-words:** Legacy Systems, Industry 4.0, Multicriteria evaluation, AHP.

## 1. Introdução

A indústria tem dificuldade de aderir práticas que estejam alinhadas com o movimento da transformação digital. Esse movimento, Indústria 4.0 (I4.0), gera um impacto ao propor a implementação de novas tecnologias e modelos de negócios na estrutura organizacional da empresa. Para um sistema de produção ser considerado I4.0 ele deve ser apto a interoperar de acordo com os seguintes pilares tecnológicos: os Sistemas Ciber-físicos (CPS), a Internet das coisas (IoT) e a captura de dados em tempo real sendo analisados por inteligências computacionais (*Big Data/Analytics*).

O Sistema Ciber-físico (CPS) é considerado um reflexo (gêmeo) virtual da indústria física. No trabalho de Rojas et al. (2017b) explica-se que um ponto chave dos CPSs é que eles são projetados para permanecerem todo tempo conectados (interoperáveis), onde informações altamente estruturadas são constantemente trocadas. Por essa razão, as fábricas inteligentes da I4.0 são essencialmente Sistemas de Produção Ciber-Física, ou seja, um conjunto de elementos autônomos e cooperativos conectados entre si em todos os níveis do sistema de produção.

A IoT é compreendida como a comunicação de periféricos de toda a fábrica conectados à mesma rede. Segundo Maeda et al. (2017a) o monitoramento do status de operação de máquinas usando IoT é amplamente realizado para melhorar a produtividade. Os autores propõem formas de monitorar o status operacional de máquinas - atualizando o controle de fabricação através da aplicação de sensoriamento IoT, fazendo-se possível estimar o status operacional das máquinas com uma precisão superior a 80%. O uso de sensores é caracterizado no presente trabalho como sendo o primeiro passo na transformação digital de sistemas legado.

O conceito de *Analytics* combinado com *Big Data* correspondem respectivamente a análise inteligente de dados capturados em tempo real. De acordo com Wang et al. (2017c) sistemas de manufatura também precisam oferecer melhor desempenho com menor custo. A computação em nuvem juntamente com a captação de dados em tempo real e somado a técnicas de inteligência computacional torna os sistemas que dispõe dessas tecnologias altamente escaláveis, produtivos e ágeis.

Diante deste cenário de transformação digital impactando sobre o setor industrial, o objetivo principal neste artigo é, através de um modelo de análise e um método de apoio a tomada de decisão, compreender se o sistema legado de uma organização, (i) deve continuar operando como está; (ii) deve ser descartado; (iii) ou deve ser melhorado, e neste último caso, aplicar a ação de reengenharia proposta.

## 2. Problemática

A tecnologia, por um lado, suporta a competitividade da organização; por outro lado, a atualização de *hardware* e *software* requer investimentos em tempo e dinheiro, motivo pelo qual à medida que novas tecnologias e processos emergem, os sistemas que são insubstituíveis para os processos (e consequentemente para a estratégia) da organização, tornam-se legados. Analogamente Brodie e Stonebraker (1995) descrevem que sistemas legado são sistemas diversos que não podem ser modificados para se adaptarem a exigências de negócios em constante mudança e sua falha pode ter um sério impacto nos processos da organização.

Como observado no trabalho Johnson e Suhabi (2009), do ponto de vista dos projetistas de *hardware* ou *software*, existe ainda um grande desafio de atualizar os sistemas legado para atender padrões de certificação. No trabalho de Palucha (2012) entende-se que ignorar mudanças rápidas no ambiente de negócios e/ou a necessidade de se adaptar a essas mudanças

pode enfraquecer a posição competitiva da organização no mercado. Portanto, para seguir competitiva é necessário aplicar da maneira correta conceitos e métodos que tornem seus processos mais eficientes na busca de atividades comerciais. O artigo vigente sugere que a análise de sistemas legado aconteça seguindo os princípios do modelo de Fabricação de Classe Mundial, “*World Class Manufacturing*” (WCM). Empresas com maior nível de maturidade e que já apresentam uma certificação WCM merecem revisar seus sistemas legado para atendimento dos requisitos de I4.0 e melhorar as dimensões de desempenho dos sistemas de operação e manutenção.

Aos olhos da organização Ramage (2002b) explica que sistemas legado contêm muito do que é valioso (dados de processos), mas difíceis de serem alterados se necessário. O trabalho referencial também aborda que estes sistemas só se mantêm em uso porque: funcionários estão continuamente atualizando-os ou sendo empregados para lidar com exceções que estes sistemas não podem suportar; é a tecnologia que, em quinze anos de uso, ainda se adequa ao propósito original, mas possui deficiências quando tenta interoperar com novos processos subjacentes.

Portanto sistemas são legados se: (i) esses sistemas possuem extrema relevância para a organização em matéria de negócios (valor de negócio); e (ii) suas características são obsoletas em relação as exigências técnicas dos demais sistemas da organização, ou seja, outros sistemas são fortemente dependentes dele (importância técnica) (RANSOM J. et al, 1998).

## 2.1 Objetivo geral: tomada de decisão

Visto que sistemas legado limitam a inovação e de maneira geral, mantê-los é muito custoso e exige muito esforço de manutenção, este trabalho propõe a combinação de duas técnicas, uma de diagnóstico e outra de tomada de decisão para sistemas legado, Ransom et al. (1998) e Cimitile et al. (2001b) respectivamente, trazem a possibilidade de compreender: se estes sistemas são (altamente ou não) propensos a sofrer reengenharia; se devem ser ordinariamente mantidos; ou se podem ser substituídos por outros sistemas. Em geral, como citado em Brooke et al. (2001a) o principal critério de tomada de decisão é o lucro, levando em conta o questionamento sobre qual mudança na TI causa o maior impacto financeiro positivo na organização.

## 2.2 Objetivo específico: reengenharia

Este artigo propõe, ao passo que o sistema legado necessite de uma ação de reengenharia complexa (Adaptação Extraordinária), que se acople uma camada sensorial neste sistema, agregando nele a característica preditiva (de transmissor de dados em tempo real), tornando-o um “sistema legado inteligente” (*smart legacy system*, SLS). “Sistemas” são compreendidos como a sinergia entre *software* e *hardware* delimitados a uma determinada função. Entende-se por “camada sensorial”, a implementação de sensores nos pontos chave dos processos industriais, produzindo um reflexo virtual do sistema que será acessado pela rede (internet industrial) da organização (caracterizando um CPS). O objetivo dessa estratégia é aproximar a organização da transformação digital de maneira gradual, pois um sistema legado é um sistema chave e na maioria dos casos não pode ser alterado drasticamente.

## 3. Modelo de avaliação proposto

Como citado anteriormente, Ransom et al. (1998) e Cimitile et al. (2001b) trazem a possibilidade de diagnosticar sistemas legado e, com isso, suportar alguma ação de decisão que beneficie o lucro da organização. O artigo vigente tem o mesmo objetivo mas, além disso, tenta adequar estes sistemas legado em um modelo de avaliação visando alcançar a competitividade presente na Indústria 4.0. No modelo proposto, busca-se maior assertividade ao utilizar

conceitos de critérios e diagnóstico dos trabalhos referenciais, aplicados a um método multicritério de apoio à tomada de decisão, mais especificamente o método AHP (*Analytical Hierarchical Process*).

### 3.1 Referencias teóricas

O presente estudo considera duas bases referenciais:

Na primeira, o trabalho de Ransom et al. (1998) apresenta um modelo de avaliação de sistemas composto por cinco atividades principais, projetado para ser iterativo, oferecendo uma relação custo/risco. O produto do modelo busca entender a importância do sistema legado, a partir de questões técnicas, comerciais e perspectivas organizacionais, fornecendo uma base a partir da qual pode ser tomada uma decisão contemplando quatro diferentes estratégias de evolução;

Na segunda base referencial, Cimitile et al. (2001b) apresentam um projeto de pesquisa, com o objetivo de apoiar o processo de tomada de decisão de uma avaliação sistemática de sistemas legado durante o ciclo de vida de sua evolução. Todos os sistemas passam por uma evolução contínua, alternando entre quatro fases principais e interpretadas por quatro atributos básicos.

### 3.2 Estrutura do modelo proposto

O modelo construído nesse artigo compreende a combinação de características diagnósticas e a correlação de critérios de análise dos trabalhos referenciais. Ele é dividido em três níveis onde: o primeiro analisa questões focadas a infraestrutura do sistema; o segundo pondera os critérios chave de sistemas legado; o terceiro serve para inferir qual decisão é a mais factível em termos de aplicação de transformação digital no sistema legado. A Figura 1, apresenta a estrutura do modelo de avaliação que caracteriza três níveis.

Buscando a estruturação de uma base diagnóstica aplicou-se o método AHP ao modelo proposto, com o objetivo de suportar a decisão de uma das quatro ações propostas. Em seu trabalho o autor Saaty (1987) explica que o método AHP é utilizado para apoiar tomadas de decisão, derivando-se escalas de razão de comparações pareadas discretas. Em sua forma geral, o AHP é uma estrutura não-linear para a realização do pensamento dedutivo e indutivo sem o uso do silogismo, levando em consideração vários fatores simultaneamente e permitindo a dependência e o feedback, fazendo com que compensações numéricas cheguem a uma das alternativas propostas.

#### 3.2.1 Primeiro nível

Neste nível é necessário entender questões específicas ligadas a infraestrutura do sistema legado a ser avaliado. Sendo assim, avaliadores de dentro da organização devem ser escolhidos (exemplo: gestores, diretores, especialistas de TI e infraestrutura).

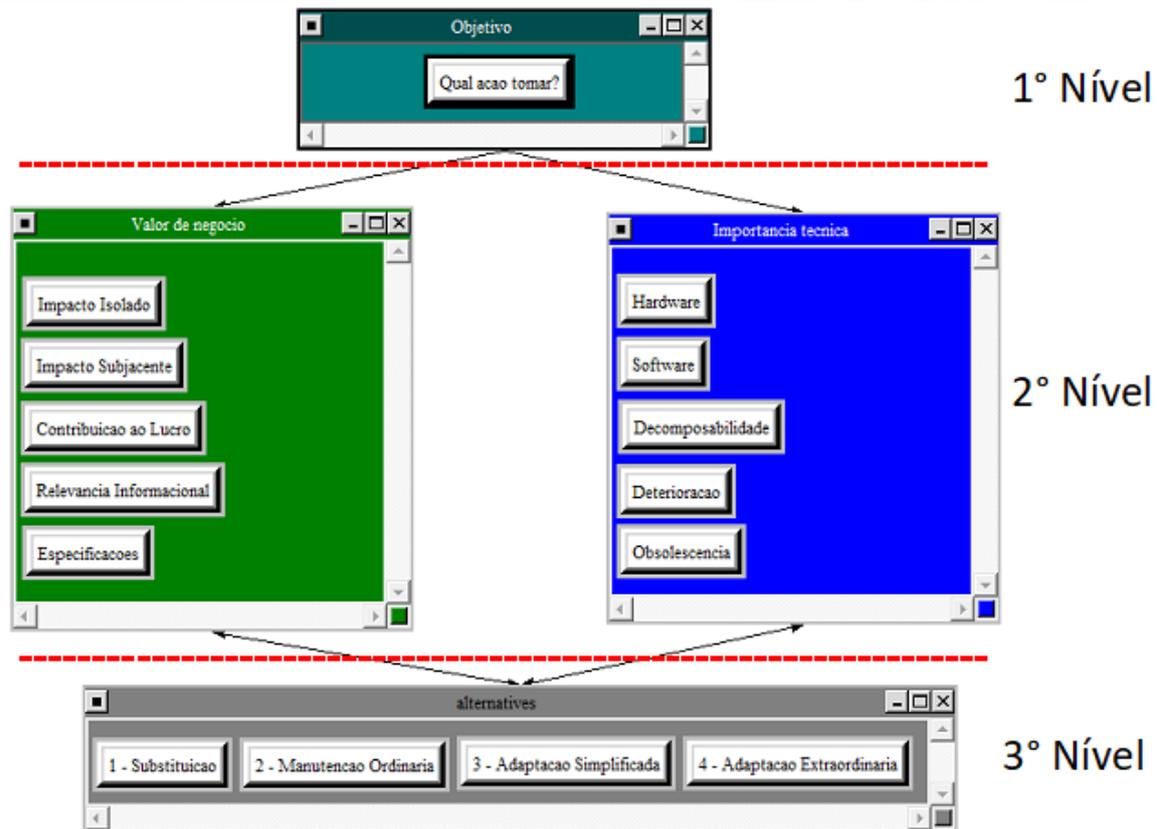


Figura 1 – Modelo de avaliação de decisão para Sistemas Legado

Portanto, no nível 1 do modelo, os avaliadores decidirão se o sistema deve ou não ser avaliado de acordo com:

- Criticidade do sistema para a organização - se um dado sistema não é essencial para o funcionamento contínuo do negócio, prioritariamente não é necessária a aplicação de ações de transformação digital nele;
- Objetivo de negócios - os avaliadores devem entender os objetivos de negócios do sistema legado dentro da organização;
- Vida do sistema atual - fatores como a capacidade de manutenção de *software* e *hardware*. Quando o *software* de suporte se torna obsoleto, a vida útil do sistema é limitada tornando-o um forte candidato para a transformação digital;
- Projeção de evolução - uma projeção de como o sistema deve operar após a transformação digital, prevendo que a transformação digital do sistema suporte os principais elementos do processo de negócios por um tempo considerável, devendo estar em conformidade entre os avaliadores;
- Interoperabilidade do sistema - por exemplo, se os sistemas subjacentes estão evoluindo para padrões nos quais o sistema avaliado não consegue se comunicar.

### 3.2.2 Segundo nível

O valor de negócio e importância técnica serão dois *clusters* que servem para posicionar a resposta de suporte diagnóstico do modelo. Deles serão extraídos escores providos pelo método AHP. Isso acontecerá comparando cinco critérios um a um em cada *cluster*, com cada um dos

avaliadores escolhidos no nível anterior. Cada um dos dois *clusters* são representados pelos seguintes critérios:

- a) *Cluster* de Valor de Negócio é composto pelos critérios: Impacto Isolado, Impacto Subjacente, Contribuição ao Lucro, Relevância Informacional e Especificações Pontuais;
- b) *Cluster* de Importância Técnica é composto pelos critérios: *Hardware*, *Software*, Decomposabilidade, Deterioração e Obsolescência.

### 3.2.3 Terceiro nível

Por fim, o modelo apresenta um *cluster* com alternativas que sugerem a decisão que melhor se adequa ao escore na análise do segundo nível. Essas alternativas podem ser interpretadas graficamente e serão apresentadas na seção 4.2.

## 4. Especificações do modelo

Nesta seção serão explicados os critérios escolhidos, como as decisões propostas são impactadas por esses critérios e o que elas representam. Vale ressaltar que, se no caso de o sistema necessitar de uma Adaptação Extraordinária, uma ação específica é proposta visando adaptar o sistema legado a transformação digital imposta pela I4.0, tornando-o um sistema legado inteligente (SLS).

### 4.1 Critérios aplicados ao AHP

No segundo nível do modelo, os critérios para as análises de valor de negócio e importância técnica foram herdados primeiramente dos dois principais trabalhos referenciais citados na seção 3.1, e em seguida, revisados com base na literatura apresentada.

#### 4.1.1 Valor de negócio

Ao se tratar de valor de negócios, entende-se, a importância do sistema dentro de questões monetárias na organização. Em muitos casos, mudanças no processo de negócio subjacente significam que o sistema legado possui apenas um valor apenas periférico. Em outros casos, os sistemas são críticos para os negócios e devem ser mantidos em operação, validando o tempo e esforço investido na modificação ou manutenção constante de tal sistemas. Os critérios detalhados a seguir correspondem a análise do *cluster* de Valor de negócio:

- a) Impacto Isolado - o impacto que o sistema causa, não diretamente em outros sistemas, mas individualmente nos processos da organização;
- b) Impacto Subjacente - representa o impacto que o sistema tem em outros sistemas. Sistemas legado tem por definição serem chave de processos da organização e por isso, possivelmente, outros dependem dele;
- c) Contribuição ao Lucro - este critério representa o peso do sistema para o lucro da organização. São necessários esforços para compreender o quanto o sistema isolado gera de lucro e despesas;
- d) Relevância Informacional - compreende os dados do processo, se eles são acessíveis apenas através do sistema legado, então seu valor comercial é crítico;
- e) Especificações Pontuais - funções específicas do sistema legado, por exemplo, as funções de automação de escritório, podem ser facilmente substituídas por produtos disponíveis comercialmente, enquanto funções de domínio altamente especializadas e estratégicas não podem.

#### 4.1.2 Importância técnica

A compreensão de ambiente técnico de um sistema legado é a união de *hardware*, *software* aplicado (exclusivo ao sistema), ferramentas interativas de *software* dos subsistemas e atividades técnicas relacionadas ao processo no qual ele participa. Com isso mede-se a importância técnica do sistema para a organização. Os critérios que correspondem a análise do *cluster* de Importância técnica são detalhados a seguir:

a) *Hardware* - fornecedor, custo de manutenção, taxa de falha e a capacidade de executar função, são alguns dos pontos que devem ser levados em conta nesse critério. A qualidade do *hardware* é determinada pelos custos totais de manutenção e se ele ainda é suportado. Componentes típicos de *hardware* encontrados em sistemas legado incluem mainframe, unidades de disco, terminais, impressoras e aparelhos de rede;

b) *Software* - o *software* aplicativo é dependente do sistema, operando diretamente no computador de máquinas de fábrica. Por sua vez, *software* de suporte de um sistema compreende componentes que exigem manutenção regular na forma de atualizações. Normalmente, existem muitas interdependências entre os componentes de *software* de aplicativo, por exemplo, algum tipo de *hardware* específico. Exemplos de componentes de *software* de suporte incluem sistemas operacionais, bancos de dados, compiladores, ferramentas computacionais de escritório, *softwares* de rede;

c) Decomposabilidade - facilidade com que os principais componentes de um sistema são independentes uns dos outros. Em uma arquitetura onde a decomposabilidade é alta, aplicativos e serviços de gerenciamento de dados podem ser considerados como componentes distintos com interfaces bem definidas. Uma arquitetura onde a decomposabilidade é baixa, consiste em componentes que não são separáveis;

d) Deterioração - expressa o envelhecimento de um sistema como resultado de mudanças contínuas feitas, e por isso atinge mais frequentemente sistemas de *software*. A manutenção comum é geralmente realizada sem respeitar o que Brooks chama de “integridade conceitual” de um sistema. A deterioração também é considerada quando mantenedores não atualizam a documentação. É expressa pela perda de confiabilidade no desempenho, devido a novos erros introduzidos como efeito colateral de alterações passadas ocorridas no sistema;

e) Obsolescência - expressa o envelhecimento de um sistema e representa sua falha em atender necessidades em constante mudança. O progresso contínuo de plataformas de *hardware/software*, linguagens de programação e práticas de desenvolvimento faz com que o sistema fique desatualizado em um curto espaço de tempo. Este critério representa um custo indireto, não aproveitando a oportunidade para reduzir as despesas de manutenção e sim para ganhar posição no mercado de negócios.

#### 4.2 Análise de resultado

De acordo com a Figura 2, percebem-se quatro quadrantes que representam as decisões sugeridas pelo método AHP, e tem como objetivo auxiliar uma análise gráfica, qualitativa, ao passo que se o score da decisão estiver perto da periferia de outro quadrante mais incerta é a resposta. A seguir são demonstrados os valores de uma análise aplicada a um sistema de manutenção de uma indústria automobilística, bem como a interpretação de seus resultados. No gráfico, interpreta-se que cada decisão a ser tomada compreende um quadrante que equivale a 1 unidade de área (u.a.). O desenvolvimento do método AHP expressa que a melhor decisão a ser tomada é a que representa o terceiro quadrante (0,1651 pontos da escala Saaty utilizada pelo método AHP, sem a normalização da equação).

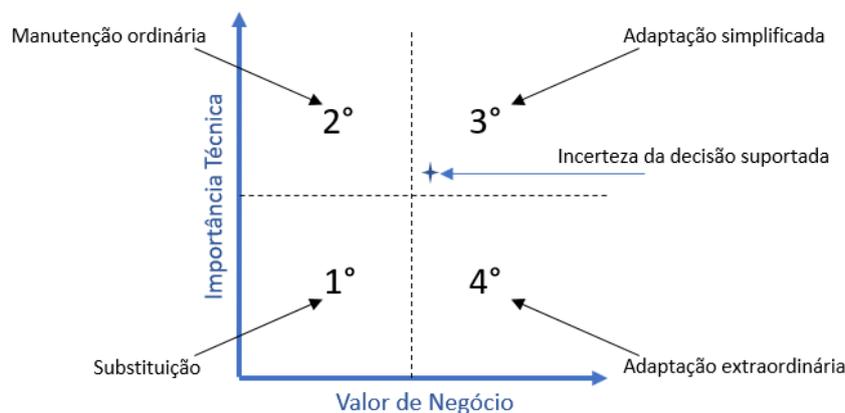


Figura 2 – Análise gráfica do modelo

Este valor não é refletido diretamente no gráfico. Após esse reconhecimento, para a representação gráfica, a localização específica é calculada com a média (aritmética) dos resultados dos critérios em Valor de Negócio (eixo  $x = 1,074$  u) e Importância Técnica (eixo  $y = 1,0246$  u).

Valor de negócio	
Impacto Isolado	0,065
Impacto Subjacente	0,056
Contribuição ao Lucro	0,074
Relevância Inf.	0,076
Especificações Pon.	0,101
TOTAL:	0,372/5
Gráfico eixo (x):	$0,074 + 1$ (3ºQ)

Fonte: Autor (2018)

Tabela 1 – Análise AHP para Valor de negócio

Importância técnica	
Hardware	0,023
Software	0,0204
Decomposabilidade	0,026
Deterioração	0,0207
Obsolescência	0,033
TOTAL:	0,1231/5
Gráfico eixo (y):	$0,0246 + 1$ (3ºQ)

Fonte: Autor (2018)

Tabela 2 – Análise AHP para Importância técnica

Toda vez que o terceiro quadrante for apresentado com a melhor escolha, para a correta posição geográfica, ele receberá a soma de uma unidade em cada eixo, como no exemplo das tabelas Tabela 1 e Tabela 2. Da mesma forma, se os quadrantes 2 ou 4 fossem escolhidos, receberiam a soma de uma unidade nos eixos  $y$  ou  $x$  respectivamente.

A localização geográfica expressa que quanto mais próximo da periferia de um quadrante vizinho mais incerta é a decisão suportada. Por este motivo a escolha dos avaliadores no primeiro nível do modelo é de grande importância, quanto maior o conhecimento do especialista mais consistentes é a resposta.

Ações de Decisão	
1 - Substituição	0,0879
2 - Manutenção Ordinária	0,0826
3 - Adaptação Simplificada	0,1651
4 - Adaptação Extraordinária	0,1642

Fonte: Autor (2018)

Tabela 3 – Resultado AHP para melhor decisão

Os critérios dos eixos que participam diretamente do resultado dessa decisão foram ponderados no segundo nível do modelo de avaliação proposto e refletem as seguintes decisões que podem ser tomadas, descritas a seguir:

a) Substituição - durante a substituição, o sistema existente não é mais mantido. Para o *software*, essa ação implica na compra de uma nova ferramenta comercial. Para o *hardware*, essa substituição acontece, pois, a máquina não detém mais a tecnologia necessária para se manter competitiva;

b) Manutenção Ordinária - este quadrante representa uma segunda validação da análise feita no primeiro nível do modelo, e considera que a melhor ação para o sistema legado é a de não alterá-lo. Não apenas isso, mas com a representação gráfica é possível medir o quão próximo de outra ação de decisão a ponderação atual se encontra;

c) Adaptação Simplificada - reduzir o tamanho do sistema a ser mantido, eliminando código morto e removendo funções, dados, cabos, antenas e periféricos não utilizados;

d) Adaptação Extraordinária - expressa por grandes mudanças em todos os processos e na maneira como eles operam. Para essa ação, propõe-se nesse artigo uma estratégia amplamente suportada no meio acadêmico e fortemente utilizada no meio industrial.

#### 4.3 Discussão sobre o quarto quadrante: sistema legado inteligente

O presente artigo aborda que, se no caso da melhor ação de decisão proposta no terceiro nível do modelo, seja a ação de Adaptação Extraordinária (quarto quadrante), o sistema legado analisado deve sofrer uma reengenharia gradual, que o adequa aos requisitos da I4.0, tentando não impactar de maneira negativa sua interoperabilidade com os demais sistemas e processos subjacentes. Para isso, a adesão de sensores (tecnologia base da I4.0) em sistemas legado, ligados a uma rede industrial de alta performance e atrelados a inteligência computacional, transforma-os em sistemas legado inteligentes (SLS).

Entende-se que sistemas característicos da I4.0 não são apenas preditivos, mas também tomadores de decisão autônomos. Esta estratégia aborda apenas as características preditivas da transformação digital inerente pois, primeiramente, é necessário a captação de dados por sensores (característica preditiva) no sistema legado para que posteriormente ele abasteça outros sistemas, com características autônomas, subjacentes a ele.

Dada estratégia de transformação digital pode ser confirmada em dois trabalhos referenciais. Com foco em *software*, o trabalho de Kaiser et al. (2002a) aborda como “autonomizar” sistemas

legado, assim, a camada de monitoramento (sensores) pode avaliar o desempenho do sistema com base nos dados de acordo com uma ampla variedade de modelos de métrica, protocolo, arquitetura, etc. Com foco em *hardware*, no trabalho de Tedeschi et al. (2018) entende-se que, para usar esses novos sistemas inteligentes (por exemplo, sensores, tecnologias IoT, etc.), os fabricantes precisam reconfigurar o nível de TI para criar a nova geração de “máquinas-legados inteligentes”.

## 5. Conclusão

O modelo proposto foi concebido para fornecer uma avaliação de sistemas legado, buscando requisitos científicos para aplicação na indústria, oferecendo opções que impactam em decisões de investimentos objetivando tornar o sistema mais competitivo no processo de transformação digital promovido pelo advento da Indústria 4.0. Foram descritos critérios comerciais e técnicos que impactam nos processos que possuem sistemas legado, e que posteriormente são analisados em um método de suporte a tomada de decisão AHP. O resultado da análise indica se é factível aplicar esforços de transformação digital no sistema, e se esse for o caso, qual esforço deve ser empregado.

A previsão para evolução do escopo de pesquisa indica um direcionamento do modelo proposto, de caráter diagnóstico, para extensão à uma esfera de análise prognóstica suportando diretrizes para evolução industrial. Para tal, novos métodos de apoio à tomada de decisão são objeto de investigação como o *Electre TRI* – muito apropriado para posicionamento das alternativas de avaliação em classes (quadrantes de evolução industrial) e o *Promethe II* – como método de priorização de esforços de evolução em maturidade sob requisitos da indústria 4.0. Este novo modelo suportará decisões estratégicas desde a proposta de transformação digital de um sistema, até a implementação de tecnologias que auxiliem nesse processo de transição, buscando a competitividade de organizações na Indústria 4.0.

## Referências

**BRODIE M.; STONEBRAKER M.** *Migrating legacy systems: gateways, interfaces & the incremental approach*. Morgan Kaufmann Publishers Inc, 1995.

**BROOKE C.; \*RAMAGE M.** *Organisational scenarios and legacy systems*. Faculty of Business and Management, University of Lincoln, UK; \*Centre for Complexity & Change, Open University, UK, 2001a.

**CIMITILE A.; \*FASOLINO A. R.; \*\*LANUBILE F.** *Legacy Systems Assessment to Support Decision Making*. University of Salerno, Faculty of Engineering in Benevento, Italy; \* University of Naples “Federico II”, Italy; \*\* University of Bari, Italy, 2001b.

**JOHSON T.; \*SUHAIB S.** *Toward Improved Verification And Certification of Legacy Systems*. GE Research (Retired), 786 Avon Crest Blvd., Niskayuna, NY, 12309 USA; \*GE Research, One Research Cir., Niskayuna, NY 12309 USA, 2009.

**KAISER G.; GROSS P.; KC G.; PAREKH J.; VALETTO G.** *An Approach to Autonomizing Legacy Systems*. Columbia University, Programming Systems Lab Department of Computer Science, 2002a.

**MAEDA M.; SAKURAI Y.; TAMAKI T.; NONAKA Y.** *Method for Automatically Recognizing Various Operation Statuses of Legacy Machines*. Hitachi, Ltd., Yokohama Research Laboratory, Yokohama, Japan, 2017a.

**PALUCHA K.** *World class manufacturing model in production management. Management and Administration Institute*. Organization and Management Faculty, Silesian University of Technology, ul. Roosevelta 26-28, 41-800 Zabrze, Poland, 2012. **PELLEGRINI, F.R.; FOGLIATTO, F.** *Estudo comparativo entre modelos de Winters e de Box-Jenkins para a previsão de demanda sazonal*. Revista Produto & Produção. Vol. 4, número especial, p.72-85, 2000.

**RAMAGE M.** *Global perspectives on legacy systems*. Centre for Complexity and Change, Faculty of Technology, Open University, Buckinghamshire, 2002b.

**RANSOM J.; SOMMERVILLE I.; WARREN I.** *A Method for Assessing Legacy Systems for Evolution*. Computing Dept., Lancaster University, United Kingdom, 1998.

**ROJAS R.; RAUCH E.; VIDONI R.; \*MATT D.** *Enabling Connectivity of Cyber-Physical Production Systems: A Conceptual Framework*. Faculty of Science and Technology, Free University of Bozen, Bolzano, Piazza Università 5; \*Fraunhofer Italia Research s.c.a.r.l., Innovation Engineering Center (IEC), via Macello 57, Bolzano, 39100 Italy, 2017b.

**SAATY R.W.** *The analytic hierarchy process—what it is and how it is used*. Mathematical Modelling, Volume 9, Issues 3–5, 1987, Pages 161-176, 1987.

**TEDESCHI S.; RODRIGUES D.; EMMANOULIDIS C.; ERKOYUNCU J.; ROY R.; STARR A.** *A cost estimation approach for IoT modular architectures implementation in legacy systems*. EPSRC Centre for Innovative Manufacturing in Through-life Engineering Services Manufacturing Department, Cranfield University, MK43 0AL, UK, 2018.

**WANG X.; GIVEHCHI M.; WANG L.** *Manufacturing system on the cloud: a case study on cloud-based process planning*. Department of Production Engineering, KTH Royal Institute of Technology, Sweden, 2017c.