

AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL PARA A MANUFATURA AVANÇADA COM APOIO DA ENGENHARIA DE SISTEMAS & REQUISITOS

Wagner Comenale

Universidade de Taubaté - UNITAU
wagnercomenale@hotmail.com

Filipe Wiltgen

Universidade de Taubaté – UNITAU
Programa de Mestrado em Engenharia Mecânica
LFWBarbosa@gmail.com ou Filipe.Wiltgen@unitau.br

Resumo. Este artigo tem o objetivo de apresentar a importância na utilização de técnicas de Engenharia de Sistemas & Requisitos (ESR) atuando na estruturação da Manufatura Avançada (MA) com a finalidade de permitir a ampla conectividade de informações entre os diferentes sistemas industriais atuando em conjunto. A integração e comunicação da informação em tempo real com técnicas voltadas para a solução de problemas que possam ser implementadas diretamente em equipamentos industriais. O estudo está centrado na substituição das ações humanas realizadas nas extrusoras de borracha em diferentes partes de pneus. Aqui são descritas as técnicas de ESR aplicadas no domínio do problema para formalização do conhecimento em requisitos capazes de ajudar na implementação e testes de sistemas de controle. A aplicação destas técnicas permite prosseguir com a evolução do desenvolvimento do sistema de controle com o acompanhamento da maturidade tecnológica. No decorrer da pesquisa são apresentadas as técnicas de análise de problemas voltados para sistemas de controle autônomos e integrados capazes de se comunicarem com as máquinas no processo, e se auto-ajustar a cada nova mudança de matéria-prima, assim como, nas alterações das condições ambientais necessárias para a indústria de transformação de borracha.

Palavras chave: Manufatura Avançada. Engenharia de Sistemas & Requisitos. Sistemas de Controle. Sensores. Extrusora.

1. INTRODUÇÃO

Um aspecto importante da integração proporcionada pela Manufatura Avançada (MA) é a possibilidade de evitar a interferência humana em processos no qual uma máquina pode atuar de forma mais assertiva. Entretanto, para que isso possa se tornar rotineiro na indústria atual, é necessário investimento intelectual antes do investimento tecnológico (Wiltgen, 2020A).

Novas gerações de engenheiros serão capazes de integrar de forma coerente processos, máquinas e humanos. Isso começa a ser verdade nos dias atuais, no qual pesquisas em MA começam a ser empregadas no mundo e aqui no Brasil. O compartilhamento de informações e processos industriais irão permitir aplicar controle autônomo e inteligente nas máquinas melhorando sua eficiência e produtividade.

Atualmente muitos processos produtivos industriais estão sob a atuação humana, realizando ajustes manuais para o funcionamento das máquinas. Os controles e processos realizados de forma manual são lentos, e pior, personalizados conforme cada operador humano. Isso quer dizer que dependem diretamente das habilidades específicas de quem opera a máquina. Esses operadores, dado sua experiência prévia, possuem a capacidade de distinguir e determinar os parâmetros operacionais quando existem mudanças climáticas ou da natureza do processo, até mesmo da própria matéria-prima.

Para substituir o modelo atual baseado em soluções particulares humanas, deve ser estudado o problema profundamente via Engenharia de Sistemas & Requisitos (ESR) (Wiltgen, 2020B; Loucopoulos e Karakostas, 1995; Blanchard e Fabrycky, 2011; INCOSE, 2015; DoD, 2001; NASA, 2018). A ESR permite operacionalizar de forma coerente e estruturada a MA em ambientes industriais, no qual a conexão entre os equipamentos industriais nos processos produtivos permitem a integração dinâmica do fluxo de informações entre diferentes tipos de máquinas e sistemas, agilizando as decisões de forma autônoma.

No decorrer deste artigo, são abordadas as necessidades da indústria de borracha na fabricação de pneus automotivos, o funcionamento das extrusoras de borracha, aplicação de técnicas de ESR no estudo, análises dos sistemas de controle autônomo de um processo de extrusão de borracha para a fabricação de pneus via manufatura avançada, características importantes das extrusoras de borracha para o conhecimento do problema e elicitação de requisitos. A utilização das técnicas ESR na elaboração das análises para planejamento e o desenvolvimento do sistema de controle autônomo são apresentadas e por fim são discutidas as etapas futuras da pesquisa.

2. MANUFATURA AVANÇADA APLICADA NA INDÚSTRIA DE BORRACHA

Para compreender o processo que motivou o desenvolvimento da chamada Indústria 4.0 na Alemanha ou *Smart Factory* no EUA ou a Manufatura Avançada no Brasil, é necessário realizar uma análise com início na década de 70.

Com maior impacto nos países emergentes e com menor intensidade nos países desenvolvidos como Alemanha, EUA, França e Reino Unido, as indústrias destes países sofreram um processo de migração das suas instalações e produções para países em desenvolvimento, principalmente países asiáticos. Além da migração e da redução da sua capacidade industrial para a produção de bens de baixo valor agregado, houve também a migração e a redução da capacidade produtiva dos bens de maior complexidade, como conhecimento, pessoal qualificado e infraestrutura de suprimentos (Arbix *et al.*, 2017; Bento e Malagutti, 2020). As consequências destas migrações evidenciaram dificuldades econômicas significativas, que impactam diretamente na indústria de transformação e refletiram no PIB dos respectivos países.

A importância do desenvolvimento tecnológico faz com que os países se organizem, de forma a integrar governos, indústrias, centro de pesquisas, universidades e investidores, para que juntos possam viabilizar a nova revolução industrial a manufatura avançada (Wiltgen, 2020A).

Na indústria mundial, conceitos de integração e conectividade baseado na manufatura avançada estão sendo implementados com a utilização de tecnologias digitais integradas, tecnologia de nuvem, realidade aumentada, internet das coisas, robôs autônomos, banco de dados, simulações e manufatura aditiva. Esses conceitos contribuem para a integração dos sistemas industriais automatizados, melhoria dos processos de produção industrial e acesso às informações, tornando-os mais eficientes, flexíveis e personalizados (Tropia, 2017; Albertin, 2017; MCT&I, 2017; Mendes, 2017; Pontes, 2018).

No Brasil, muitos setores industriais estão atrasados com relação à adoção de tecnologias digitais (Vermulm, 2018). A ausência de tecnologia e a falta de investimento é uma realidade que impossibilita a solução de problemas simples nos processos produtivos nacionais.

O setor da borracha é muito abrangente, tem início com o cultivo e a extração do látex nas florestas, e se estende até a produção de diferentes tipos e modelos de produtos manufaturados nas indústrias

Por ser amplo, o setor da borracha é representado por indústrias de diferentes tamanhos conforme a característica dos produtos manufaturados. Isso impacta diretamente nos tipos de máquinas e processos utilizados que por fim também influenciam os sistemas de controle aplicados a essas máquinas. Indústrias de grande porte possuem maquinários complexos e modernos com elevados níveis de automatização dos seus sistemas de controle, o que garante a integração e a conectividade, as quais são premissas para a manufatura avançada.

Algumas indústrias de pneus, mesmo sendo multinacionais, estão igualmente defasadas tecnologicamente, se comparadas às indústrias brasileiras. A justificativa para a atual defasagem, são os longos períodos sem o investimento adequado e necessário para a manutenção e atualização tecnológica das máquinas e processos modernos.

A indústria de produção de pneus, assim como, em outras indústrias de processamento de borracha, tem um longo caminho a percorrer com o objetivo de consolidar os conceitos práticos fundamentais para a manufatura avançada. A substituição de máquinas com tecnologias obsoletas ou sua atualização tecnológica, utilização de modernos sistemas de controle, uso de sensores para a integração dos processos através de redes de comunicação e a conectividade do ambiente industrial com o ambiente corporativo (Bento e Malagutti, 2020).

Essa talvez seja uma boa oportunidade para debater sobre a indústria no futuro, aqui a distância entre a pesquisa e desenvolvimento, torna difícil a evolução da indústria (Wiltgen, 2020A). A consolidação dos processos de integração de sistemas e utilização de controles, sensores e atuadores eletrônicos podem vir a estabelecer uma estratégia dentro dos conceitos da manufatura avançada, para alavancar e reposicionar a indústria brasileira (Arbix *et al.*, 2017).

3. EXTRUSORAS DE BORRACHA

O processo de extrusão de borracha é um processos de manufatura importante na indústria de fabricação e transformação de borracha consiste basicamente em forçar a passagem de uma massa de elastômero pelo barril da extrusora, utilizando um fuso, o intuito é obter na saída da extrusora um perfil de material que tenha as dimensões estabelecidas pela chamada feira modeladora ou matriz de extrusão (Quelho, 2018).

A técnica utilizada para forçar o composto de borracha através da matriz de extrusão possui as seguintes classificações:

- **Extrusoras de Êmbolo:** no qual a pressão necessária para forçar a passagem do composto de borracha através da feira é produzida por movimento de um êmbolo mecânico.
- **Extrusoras de Fuso (Parafuso):** no qual a pressão necessária para forçar a passagem do composto de borracha através da feira é produzida por movimento de um fuso ou parafuso sem fim.

As extrusoras de fuso (parafuso) utilizadas na indústria de fabricação de pneus automotivos, são classificadas conforme a temperatura de operação da matéria-prima, podendo ser extrusoras com alimentação a quente ou extrusoras com alimentação a frio. As extrusoras com alimentação a quente são utilizadas em casos especiais, como na produção

de perfis de extrusão de grandes dimensões, nos quais a homogeneidade é muito importante e pela complexidade do processos. As extrusoras com alimentação a frio possuem diversos tipos de fusos plastificadores e tem a função de homogeneizar a mistura de borracha durante o processo de extrusão.

Conforme pode ser visto na Figura 1, uma extrusora de borracha é constituída de um corpo cilíndrico oco, comumente chamado corpo da extrusora ou de barril. O barril por sua vez, acomoda no seu interior uma rosca acionada por um motor elétrico acoplado a um sistema de redução mecânica, a extrusão da borracha é realizada pelo movimento de rotação da rosca.

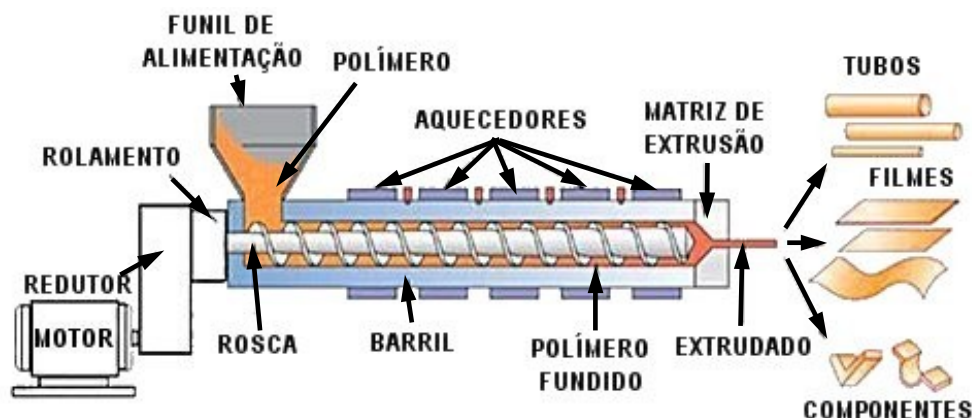


Figura 1. Elementos principais de uma extrusora de alimentação a frio. (Adaptado de Quelho, 2018)

O processo de extrusão é composto por três etapas básicas, alimentação da matéria-prima, processamento da extrusora e matriz de extrusão modeladora. Na alimentação da extrusora a matéria-prima é inserida no formato de uma manta de borracha e conduzida para dentro da extrusora através de um funil direcionador que em contato com a rosca do processamento da extrusora puxa a manta de borracha para o interior do barril da extrusora. O material é transportado pela rosca de aço ao longo de toda a extensão do barril da extrusora, nessa etapa do processo a borracha sofre aquecimento e compactação até ser conduzida a saída pela matriz de extrusão que irá modelar e definir o formato e as dimensões do material extrudado (Quelho, 2018).

Em uma extrusora de borracha quase sempre existem mudanças na qualidade do produto, principalmente dependendo das instabilidades no fluxo da matéria-prima. Constantes mudanças nas características funcionais podem induzir efeitos indesejáveis na qualidade do produto fabricado. Na extrusão, a borracha sofre complexas transformações termo-mecânicas que induzem fortes mudanças físico-químicas em suas propriedades (Previdi *et al.*, 2005).

A extrusão em borracha por necessitar de ajustes para operar as máquinas, as quais dependem da experiência prévia dos seus operadores devido às mudanças climáticas e de processo, vários problemas podem ocorrer. Esses problemas geram elevada quantidade de produtos fabricados fora dos requisitos levando ao descarte de material ou ao reprocessamento em outras máquinas, o que consequentemente elevam os custos de fabricação do produto.

Ao implantar a MA permitirá integrar os testes realizados em ambiente controlado de laboratório (*DT&E – Developmental Test and Evaluation*), com os testes realizados em ambiente relevante no campo (*OT&E – Operational Test and Evaluation*). Isso permite planejar de forma correta o plano de Pesquisa, Desenvolvimento, Teste e Avaliação (*RDT&E – Research, Development, Test & Evaluation*) que permitem agrupar e contemplar todos os testes realizados (Wiltgen, 2019; Wiltgen, 2020B; Budde *et al.*, 1992; Drezner, 1992).

Os impactos da MA sobre a produtividade, redução de custos, controle de processos, adequação da produção, dentre outros, apontam para uma transformação profunda nas estruturas industriais. A estimativa anual de redução de custos industriais para o Brasil, a partir da implantação da MA, será de ~70 bilhões de reais por ano. Essa economia envolve ganhos de produtividade com a redução nos custos operacionais (Santos *et al.*, 2018).

4. ENGENHARIA DE SISTEMAS & REQUISITOS NO PLANEJAMENTO DO SISTEMA DE CONTROLE

A Engenharia de Sistemas & Requisitos (ESR) é a ciência que permite estruturar as análises técnicas a respeito de um problema com a finalidade de propor soluções técnicas que propiciam avançar no desenvolvimento de novos produtos, técnicas, processos e inovações (Wiltgen, 2020B; Wiltgen, 2020C; Alcalde e Wiltgen, 2019).

Na Tabela 1 são apresentadas as variáveis de controle do processo relevantes para a análise do problema. Dado o elevado número de variáveis envolvidas e a quantidade de informações referentes a esse processo é fácil perceber a dificuldade para um operador humano ser eficiente no controle da máquina durante a execução do processo de fabricação de um pneu de borracha. Isso é uma oportunidade para entender as causas e efeitos envolvidos nesse processo e assim determinar quais sistemas de controle autônomos são capazes de realizar essa tarefa.

Tabela 1. Variáveis de controle em uma extrusora (Próprios Autores)

Variáveis de Controle - Extrusora	
Velocidades	Velocidade do Motor Fuso da Extrusora
	Velocidade do Motor Rolo da Saída
	Velocidade do Motor 1º Transportador
Correntes Elétricas	Corrente do Motor Fuso da Extrusora
	Corrente do Motor Rolo da Saída
Temperaturas	Temperatura Zona 1 Extrusora
	Temperatura Zona 2 Extrusora
	Temperatura Zona 3 Extrusora
	Ambiente
Umidade	Ambiente
Posição	Posição Rolo da Saída
Pressão	Pressão de Saída do Material
Peso	Peso de Saída do Material
Largura	Largura de Saída do Material
Viscosidade	Viscosidade do Material

Dessa forma, são aplicadas diversas técnicas que permitem elaborar um planejamento estratégico baseado nas características do problema. Dentre as técnicas aplicadas no estudo e desenvolvimento de sistemas de controle via MA na indústria da borracha, tem-se: A análise técnica *SWOT*, modelagem técnica *IDEF0*, modelo de *Ishikawa*, e o modelo em V (Wiltgen, 2020C).

O desenvolvimento da técnica de análise *SWOT* (Helms e Nixon, 2010) é composto por um estudo com o objetivo de evidenciar quais os fatores que podem influenciar e interferir na implementação da manufatura avançada na indústria de borracha, foram considerados aspectos internos das diversas empresas de borracha, como também aspectos externos. E assim, obtida a estrutura da matriz *SWOT* correlacionando os quatro principais fatores: pontos fortes e fracos, oportunidades e ameaças (Figura 2).

Pontos Fortes - Fortalecimento da pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica para a MA - Desenvolvimento de mão de obra especializada. - Geração de empregos qualificados. - Fortalecer a competitividade e a produtividade das empresas. - Capacidade de inovação.	Pontos Fracos - Falta de incentivo em aplicar os conceitos de MA. - Falta de visão referente aos conceitos de MA. - Falta de estrutura principalmente das micro, pequenas e médias empresas. - Mão de obra não qualificada
Oportunidades - Responder aos desafios tecnológicos impostos pela MA. - Desenvolver cursos profissionalizantes para atender a demanda da MA. - Integração da cadeia produtiva. - Agregar valor aos produtos manufaturados. - Criação de novas demanda de mercado. - Melhorar os Indicadores de desempenho	Ameaças - Falta de interesse em aplicar os conceitos de MA. - Baixo volume de investimento. - Crise econômica. - Instabilidade política. - Falta de mão de obra especializada. - Desemprego da mão de obra sem qualificação. - Custos elevados. - Obsolescência

Figura 2. Análise da matriz *SWOT* para implementação da MA na indústria de borracha. (Próprios Autores)

Compreender cada um dos fatores apresentados na análise *SWOT* na Figura 2 permite uma análise dos fatores com maior influência na implementação da MA. Tornam-se evidentes os investimentos em pesquisa, desenvolvimento e tecnologia, especialização de mão de obra e a competitividade. Assim como, o efeito desastroso da falta de conhecimento e incentivo para aplicação dos conceitos da MA além da carência de conhecimento e experiência de pessoal qualificado. Quanto às oportunidades aplicáveis à extrusora de borracha foi verificado a possibilidade de se obter um novo patamar no processo produtivo da máquina com a melhora dos indicadores de desempenho dos produtos produzidos. Para isso devem ser aplicados os conceitos de MA, os desafios tecnológicos da MA devem ser superados e também investir na qualificação da mão de obra que atuará com esta tecnologia.

O desenvolvimento da modelagem técnica *IDEF0* (Ross, 1977) tem como objetivo apresentar de forma clara e detalhada o funcionamento do sistema para implementar a manufatura avançada em uma extrusora de borracha. Na Figura 3 foram selecionadas quais as entradas (Tabela 1) que interferem nas atividades do processo, os controles que influenciam, os mecanismos necessários para que as atividades ocorram, e por fim, o resultado na saída do processo.

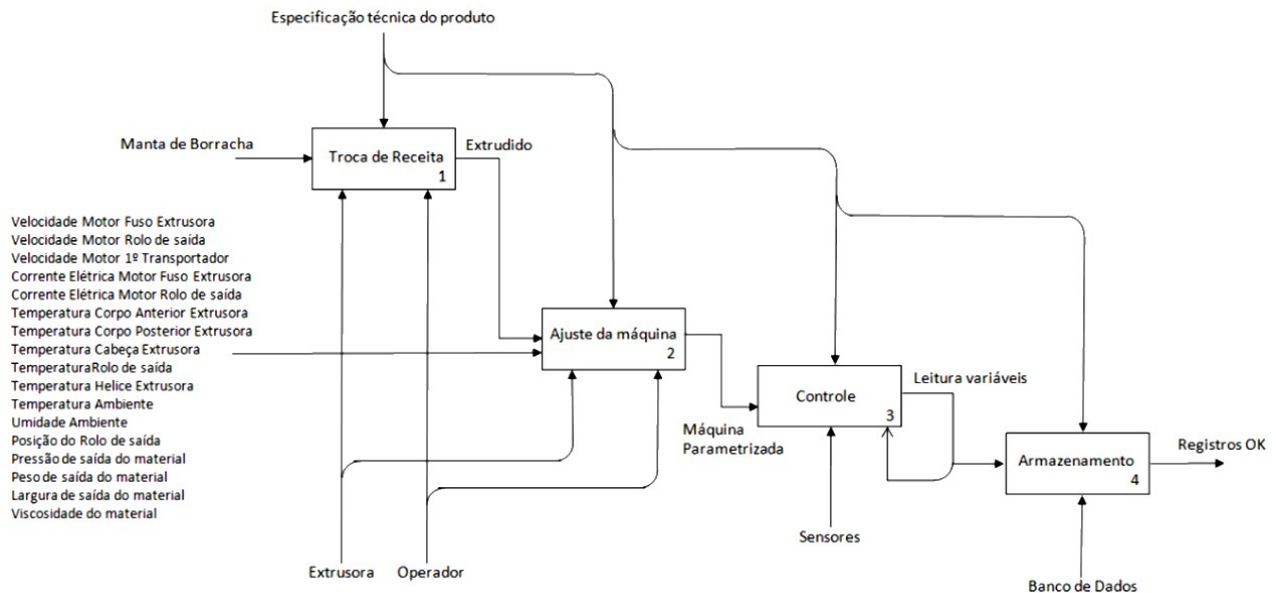


Figura 3. Técnica *IDEF0* aplicada no controle via manufatura avançada na indústria de borracha. (Próprios Autores)

A representação do processo permite compreender o fluxo e os fatores que influenciam o comportamento macro nas atividades do processo. Isso permite delinear as divisões micro do processo de acordo com suas etapas (troca de receita, ajuste de máquina, armazenamento, entre outros). O processo avança apenas com a conclusão da etapa anterior, e por ser um processo contínuo, em cada etapa estão dispostas as interferências impostas ao processo.

No decorrer das análises básicas de identificação do problema, no domínio do problema, um dos objetivos principais é ser capaz de encontrar a relação causa e efeito. Para identificar os diversos fatores que estão provocando a ineficiência do processo produtivo da extrusora de borracha, foi aplicada a análise baseada no formato do diagrama de *Ishikawa* (Causa e Efeito) (Ishikawa, 1986). O desenvolvimento desta análise parte dos questionamentos a respeito do porque que um determinado problema ocorre. Isso leva a possíveis identificações das causas de um determinado problema em questão. Cada uma das causas são separadas em diferentes fatores, conhecidos como o “6Ms” (Medidas, Métodos, Pessoas, Máquinas, Ambientes e Materiais).

Na análise apresentada na Figura 4, é possível notar as principais causas dos problemas no processo de fabricação de pneus de borracha. E notar que essas causas estão concentradas nos fatores relativos às máquinas, assim como, nos fatores humanos. É importante ressaltar que a análise do diagrama de *Ishikawa* deve sempre conduzir a identificação das causas reais do problema, com a finalidade de ajudar nas etapas de elaboração de soluções técnicas que possam ser implementadas para reduzir ou sanar as causas desses problemas identificados.

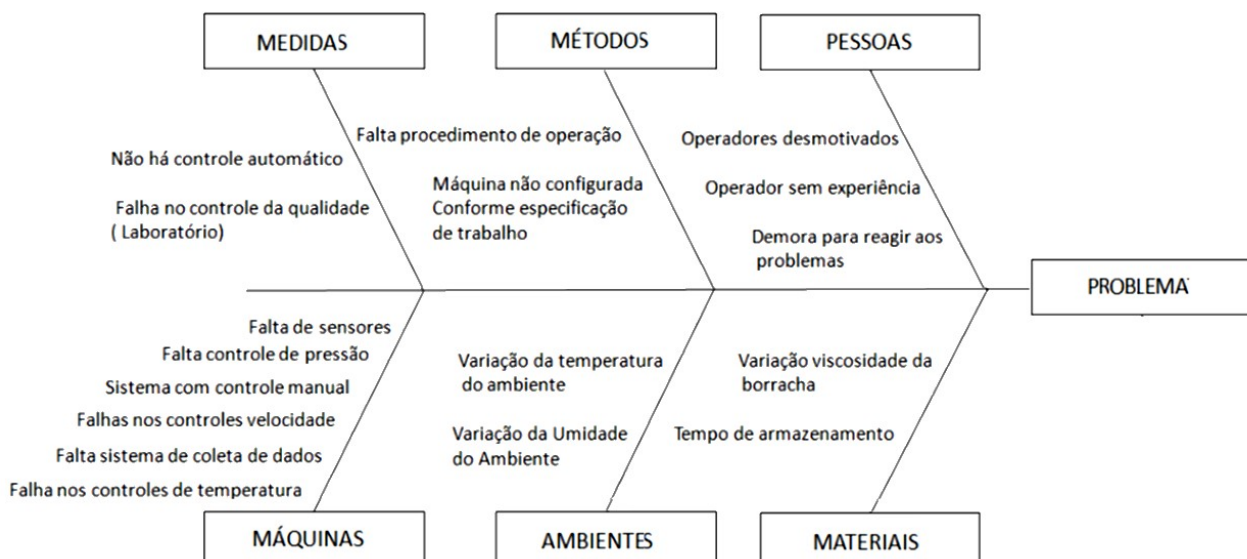


Figura 4. Diagrama de *Ishikawa* de uma extrusora de borracha (Problema). (Próprios Autores)

O modelo em V (Rook, 1986) será aplicado com o objetivo de realizar simultaneamente a implementação e os testes de cada etapa do projeto. Por se tratar de uma máquina em operação é necessário testar exaustivamente o sistema de controle. Estes testes elevam o nível de maturidade tecnológica (*TRL – Technology Readiness Level*) e permitem avançar de forma coerente no desenvolvimento para aplicação nos processos de fabricação (Wiltgen, 2020C; Sauser *et al.*, 2010; Straub, 2015; Mankins, 2009).

No modelo em V proposto na Figura 5 é possível notar que no Domínio do Problema (lado esquerdo do modelo em V) estão desde a análise da composição da borracha até o planejamento e construção dos protótipos iniciais. No Domínio da Solução (lado direito do modelo em V) tem-se o planejamento do plano de ensaio (*RTD&E*) até a validação final do sistema de controle desenvolvido para esse tipo de processo.

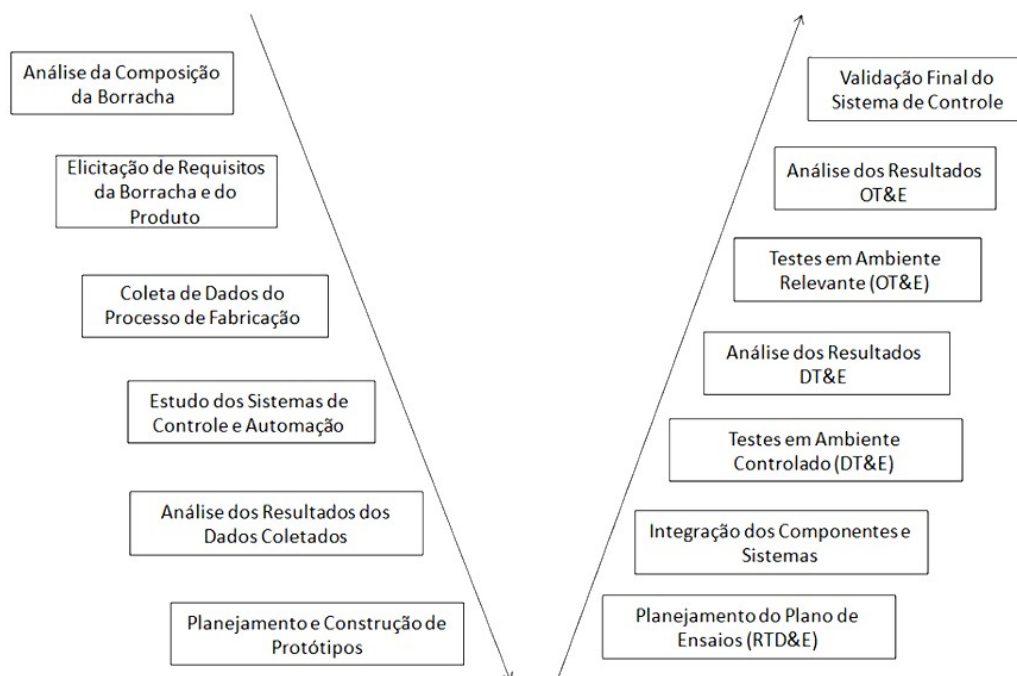


Figura 5. Modelo em V para o desenvolvimento do controle via MA para extrusora de borracha. (Próprios Autores)

Devido a quantidade de parâmetros de controle em uma extrusora de borracha, utiliza-se o conceito de sistemas, no qual os subsistemas que compõem o sistema completo podem ser desenvolvidos de modo independente e simultaneamente com outros subsistemas até o nível de detalhamento dos componentes de cada subsistema compondo dessa forma o sistema completo (Wiltgen 2020B; Wiltgen, 2020C; Abernathy, 1968; Camburn, 2017).

O objetivo do desenvolvimento de protótipos funcionais é adquirir informações relevantes para a continuidade do desenvolvimento do projeto de forma a alcançar maturidade tecnológica suficiente para comprovar e validar o seu funcionamento correto (Wiltgen, 2019; Wiltgen, 2020B; Sauser *et al.*, 2010; Straub, 2015; Nishimura, 2016).

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO

Observando as análises realizadas com as técnicas de ESR é possível delinear o desenvolvimento no Domínio do Problema (lado esquerdo do modelo em V Figura 5) no qual o foco é obter respostas a respeito do processo de fabricação e ajuste das máquinas extrusoras de borracha para elicitar os requisitos necessários para a automação do sistema pensando nas premissas de MA.

Com as atuais exigências mundiais é inevitável que as empresas em um futuro bem próximo venham a implementar e fazer uso da MA na prática com aplicação dos conceitos das fábricas inteligentes impulsionando um grande salto tecnológico. As empresas que assumirem o protagonismo para viabilizar a utilização da MA na indústria podem absorver importantes fatias do mercado consumidor de borracha.

Nesse artigo observa-se que o processo de operação de uma extrusora de borracha é exclusivamente manual, totalmente dependente da habilidade do operador da máquina. Para propor a mudança do modo manual para o modo automatizado é necessário entender quais são todas as interferências existentes no processo e mapear toda a dinâmica temporal da fabricação de um pneu de borracha. A aplicação de um plano *RDT&E*, é o primeiro passo compreender quais são as interferências e os impactos no desempenho das máquinas, verificar o sensoriamento existente, assim como, os tipos de sensores que devem ser instalados, verificar o nível de obsolescência da automação existente e a

abrangência da infraestrutura. Essa compreensão subsidiará os requisitos necessários para o desenvolvimento e implementação da solução técnica mais adequada em MA na indústria de borracha.

Para a introdução de um modelo de fábrica inteligente fica evidente a necessidade de investir não só em tecnologia, mas principalmente e no estreitamento Pesquisa Científica e a Indústria.

Nos próximos passos dessa pesquisa, são propostas soluções técnicas (Domínio da Solução – lado direito do Modelo em V Figura 5), no qual são projetados, desenvolvidos, testados e analisados os protótipos de sistemas de controle baseados em inteligência artificial.

É importante saber que este novo conceito trará mudanças significativas culturais na organização da indústria da borracha, como também, uma mudança no desenvolvimento e na capacitação humana no futuro próximo.

6. CONCLUSÃO

Esse projeto proporciona uma importante aproximação da pesquisa acadêmica científica aos problemas industriais referentes a produção de pneus de borracha para automóveis através de soluções técnicas de controle e automação modernas baseadas nas técnicas de ESR.

Este sistema de controle proposto tem a função de eliminar os problemas relativos às constantes mudanças das características da matéria-prima, assim como, os indesejáveis efeitos que impactam na qualidade do produto final fabricado.

7. REFERÊNCIAS

- Abernathy, W. e Rosenbloom, R., 1968. “Parallel and Sequential R&D Strategies: Application of a Simple Model”. *IEEE Transactions on Engineering Management*, v.15(01), pp.2–10.
- Albertin, M. R., Elienesio, M. L. B., Aires, A. S., Pontes, H. L. J. e Júnior, D.P.A., 2017. “Principais Inovações Tecnológicas da Indústria 4.0 e suas Aplicações na Manufatura”. *XXIV Simpósio de Engenharia de Produção - SIMPEP2017*. Bauru - SP, 8 a 10 de novembro.
- Alcalde, E. e Wiltgen, F., 2018. “Estudo das Tecnologias em Prototipagem Rápida: Passado, Presente e Futuro”. *Revista de Ciências Exatas da Universidade de Taubaté*. v.24(02), pp.1-9, 2018.
- Arbix, G., Salerno, M.S., Zancul, E., Amaral, G. e Lins, L.M., 2017. “O Brasil e a Nova Onda de Manufatura Avançada”. *Centro Brasileiro de Análise e Planejamento*, v.36(03), pp.29-49.
- Bento, A. R. e Malagutti, T. F., 2020 “Aplicação da Indústria 4.0 como Forma de Melhoria nos Processos de Manufatura no Setor Automotivo”. *Revista Ling Acadêmica*, v.10(01), pp.9-27.
- Blanchard, B. S. e Fabrycky, W. J. 2011. “Systems Engineering and Analysis”. *Pearson Education - Prentice Hall*, 800p.
- Budde, R., Kautz, K., Kuhlenkamp, K. e Züllighoven, H., 1992. “Prototyping: an Approach to Evolutionary System Development”. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*. 205p.
- Camburn, B., Viswanathan, V., Linsey, J., Anderson, D., Jensen, D., Crawford, R., Otto, K. e Wood, K., 2017. “Design Prototyping Methods: State of the Art in Strategies, Techniques, and Guidelines”. *Cambridge University Press, Design Science*, v.3(03), pp.1-33.
- DoD, 2001. “System Engineering Fundamentals (Department of Defense – DoD 22060-5565)”. *Defense Acquisition University Press Fort Belvoir*, Virginia. 223p.
- Drezner, J. A., 1992. “The Nature and Role of Prototyping in Weapon System Development (R-4161-ACQ)”. *RAND Corporation, National Defense Research Institute*. 152p.
- Helms, M. M. e Nixon, J., 2010. “Exploring SWOT Analysis – Where are we Now?”. *Journal of Strategy and Management*, v.3(03), pp.215-251.
- INCOSE, 2015. “Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities (INCOSE-TP-2003-002-04)”. *Version 4, Wiley*. 304p.
- Ishikawa, K., 1986. “Guide to Quality Control”. Tokyo Asian Productivity Organization. 225p.
- Loucopoulos, P. e Karakostas, V., 1995. “System Requirements Engineering”. McGraw-Hill. 160p.
- Mankins, J. C., 2009. “Technology Readiness Assessments: A Retrospective”. *Acta Astronautica*, Amsterdam, v.65(09-10), pp.1216-1223.
- MCT&I, 2017. “Plano de CT&I para Manufatura Avançada no Brasil”. *Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC*. Brasília. 68p.
- Mendes, C. R., Siemon, F. B. e Campos, M. M., 2017. “Estudo de Caso da Indústria 4.0 Aplicados em uma Empresa Automobilística”. *Pós-Graduação em Revista*, v.01(04), pp.15-25.
- NASA, 2018. “Nasa Systems Engineering Handbook”. *Nasa revision 2 SP-6105*. 298p.
- Nishimura, P. G., Rodrigues, O. V., Júnior, G. B. e da Silva, L. A., 2016. “Prototipagem Rápida: um Comparativo entre uma Tecnologia Aditiva e Subtrativa”. *Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design*, Belo Horizonte-BH, 4 a 7 de outubro.

- Quelho, P. E. Q. “Desenvolvimento de Extrusora Experimental e Software para Controle e Supervisão das Variáveis de Extrusão do ABS”. *Dissertação de Mestrado no Centro Universitário de Volta Redonda*, 2018. 150p.
- Pontes, J. e Arcuri, A.S.A., 2018. “A Manufatura Avançada entre Dois Extremos”. *Revista Administracion Publica y Sociedad*, v.01(05), pp.26-37.
- Previdi, F., Saravesi, S. e Panarotto, A., 2005. “Design of a Feedback Control System for Real-Time Control of Flow in a Single-Screw Extruder”. *16th Triennial World Congress*. Prague.
- Rook, P., 1986. “Controlling Software Projects”. *Software Engineering Journal*, pp.7-16.
- Ross, D. T., 1977. “Structured Analysis (SA): A Language for Communicating Ideas”. *IEEE Transactions On Software Engineering*, v.3(01), pp.16-34.
- Santos, M., Manhães, A.M. e Lima, A.R., 2018. “Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades para o Brasil”. *X Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe -X SIMPROD*. São Cristovão - SE, 22 a 24 de novembro.
- Sausser, B. J.; Gove, R.; Forbes, E.; Ramirez-Marquez, J. E., 2010. “Integration Maturity Metrics: Development of an Integration Readiness Level”. *Information Knowledge Systems Management*, Amsterdam, v.9(01), pp.17-46.
- Straub, J., 2015. “In Search of Technology Readiness Level (TRL) 10”. *Aerospace Science and Technology*, Amsterdam, v.46, pp.312-320.
- Tropia, C. E. Z., Silva, P. P. e Dias, A. V. C., 2017. “Indústria 4.0: Uma Caracterização do Sistema de Produção”. *XVII Congresso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica – ALTEC 2017*. Ciudad de México, 16 a 18 de outubro.
- Vermulm, R., 2018. “Políticas para o Desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil”. *Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial -IEDI*. São Paulo. 31p.
- Wiltgen, F., 2019. “Protótipos e Prototipagem Rápida Aditiva sua Importância no Auxílio do Desenvolvimento Científico e Tecnológico”. *10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação COBEF 2019*, UFSCar, São Carlos-SP, 5 a 7 agosto.
- Wiltgen, F., 2020A “A Manufatura Avançada Precisa de uma Engenharia Avançada”. *Revista Tecnologia*, v.41(02), pp.1-11.
- Wiltgen, F., 2020B “Técnica de Ensaios de Sistemas Complexos com Metodologia de Engenharia de Sistemas & Requisitos”. *Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas*, v.4(01), pp.51-60.
- Wiltgen, F., 2020C “Projetos Baseados em Requisitos”. *Brazilian Journal Technology*, Curitiba, aceito para publicação em edição de texto, pp.1-17.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas nesse artigo.

INDUSTRIAL AUTOMATION FOR ADVANCED MANUFACTURING SUPPORTED BY SYSTEMS & REQUIREMENTS ENGINEERING

Wagner Comenale

Universidade de Taubaté - UNITAU
wagnercomenale@hotmail.com

Filipe Wiltgen

Universidade de Taubaté – UNITAU
Programa de Mestrado em Engenharia Mecânica
LFWBarbosa@gmail.com

Abstract. This article aims to present the importance in the use of Systems & Requirements Engineering (SRE) techniques acting in the structuring of Advanced Manufacturing (AM) with a high point of allowing a wide connectivity of information between the different industrial systems acting together. The integration and communication of information in real time with techniques aimed at solving problems that can be implemented directly in industrial equipment. The study is centered on the replacement of human actions carried out in rubber extruders on different parts of tires. Here are obtained the techniques of SRE requirements in problem domain to formalize knowledge in requirements capable of helping in implementation and testing of control systems. Technical applications allow evolution of development of control system with the monitoring of technological maturity. In course of research, they will be, as problem analysis techniques aimed at autonomous and integrated control systems capable of communicating with machines process, and self-adjusting with each new change of raw material, as well as, in changes of necessary environmental conditions for rubber processing industry.

Keywords: Advanced Manufacturing. Systems & Requirements Engineering. Control System. Sensors. Extruder.