

PLANEJAMENTO DE RECURSOS EM SISTEMAS CIBERFÍSICOS- HUMANOS: RAZÕES PARA AVALIAR O FATOR HUMANO

Jonas Lenzi de Araujo¹

James Lenzi de Araujo²

Michele Salles de Souza³

Pablo Deivid Valle⁴

Marcio Fontana Catapan⁵

Universidade Federal do Paraná

e-mails jonas@jonaslenzi.com¹, james@j-araujo.eng.br², michele.souza@cycor.com.br³, pablo.valle@ufpr.br⁴, marciocatapan@ufpr.br⁵

Resumo: O planejamento de recursos da empresa é importante para aumentar a produtividade e a lucratividade. A aquisição e processamento de dados em tempo real suportam melhores decisões - tomada de decisão baseada em dados. O raciocínio para o estabelecimento de parâmetros fisiológicos para a avaliação de dados de origem humana é discutido ao longo deste artigo de uma perspectiva multidisciplinar. Conclusão: a IoT e os sistemas humano-ciber-físicos permitem converter a subjetividade do fator humano em variáveis quantificáveis. A avaliação do estado de saúde do trabalhador tende a ser fundamental para prevenir baixa produtividade, lesões, presenteísmo e absenteísmo. Biossensores vestíveis medem as respostas fisiológicas que implicam no estresse do trabalhador. Os dados de origem humana, juntamente com os sistemas de planejamento de recursos físicos cibernéticos, podem fornecer novos insights para uma melhor tomada de decisão. Os motivos discutidos corroboram a hipótese de que a incorporação de tecnologias de sensoriamento multimodal pode permitir tomadas de decisão mais precisas para melhorar a produtividade, lucratividade e qualidade de vida percebida em sistemas ciberfísicos.

Palavras-chave: Planejamento. Manufatura. Produtividade. Sensor. Ciberfísico

1. INTRODUÇÃO

Os ambientes de negócios estão mudando rapidamente e exigem tomadas de decisão cada vez mais complexas e aceleradas. Na manufatura, a coleta de informações e a criação de modelos preditivos mais precisos embasam decisões que repercutem na produtividade e na lucratividade. Situações singulares, como uma pandemia, afetam a disponibilidade de matéria prima, a produtividade e o consumo. Em última instância, a consideração tardia dos múltiplos fatores pode gerar perdas à indústria, justificando a importância de se obter informações em tempo real.

A Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) forma a base da chamada Quarta Revolução Industrial e da transformação digital dos negócios e da sociedade (I. Lee & Lee, 2015). A quarta revolução se caracteriza pela interconexão global de máquinas e coisas, sendo “coisa” tudo aquilo que está dotado de algum processamento computacional e que gera dados.

Neste cenário, informações sobre materiais, recursos e qualquer coisa que se relacione à produção fluem através de sistemas que constroem significados que orientam as tomadas de decisão. Sistemas embarcados monitorados em rede permitem controlar processos físicos que influenciam os processos de informação. Isso representa o entrelaçamento entre um mundo físico, presente no chão de fábrica, a um mundo virtual, representado por modelagens preditivas que orientam as tomadas de decisão. Esses são os sistemas ciberfísicos (SCF). (MacDougall, 2014)

Embora várias etapas da produção tenham sido automatizadas, o fator humano permanece superficialmente controlado devido à complexa multidimensionalidade humana. O trabalhador deve ser encarado em seus âmbitos biológico, psicológico e social, variáveis predominantemente subjetivas. Os números atribuídos ao monitoramento da mão de obra não conseguem demonstrar o grau de estresse e carga cognitiva tal qual os números que refletem a capacidade e a eficiência do maquinário. Consequentemente, não há um modelo eficiente em prever acidentes, variações de produtividade, qualidade do serviço prestado e, por analogia, manutenção preventiva dos recursos humanos.

Há uma lacuna nos sistemas de planejamento de recursos empresariais que poderiam ser preenchidas com IoT, computação em nuvem, manufatura aditiva, inteligência artificial e big data. O objetivo deste trabalho é levantar as evidências que justificam a parametrização do fator humano aos modelos de tomada de decisão. Os fatores inerentes às partes interessadas (a indústria, o trabalhador e a tecnologia) serão discutidos nas seções a seguir e, por fim serão integrados de forma a justificar o aprofundamento sobre a análise em tempo real do fator humano na manufatura.

2. A INDÚSTRIA

O sucesso do gerenciamento da manufatura depende do controle rigoroso dos processos. Por isso é necessário que os insumos e produtos estejam de acordo com especificações técnicas e procedimentos seguidos para as etapas da produção, para que sejam entregues produtos com a qualidade exigida de forma eficaz e eficiente (Laudon, 2007). Deste modo, a qualidade do produto depende da qualidade da matéria-prima, dos processos, do maquinário, além da motivação e da qualidade de vida das pessoas envolvidas.

O Planejamento de Recursos Empresariais (*Enterprise Resource Planning* - ERP) é um sistema que integra fluxos de informações, materiais e transações monetárias para auxiliar o planejamento da organização. Os sistemas ERP recentes fornecem ao gerenciamento vantagens tangíveis e intangíveis, competitividade estratégica, além de novos valores por meio da inovação dos processos de negócios (Klaus et al., 2000; Motwani et al., 2002). Atributos intangíveis e excelência operacional focados no cliente devem ser considerados no processo de tomada de decisão ERP.

O *lean manufacturing* considera o desperdício de talento do trabalhador como algo que pode dificultar a obtenção de melhores resultados operacionais. Outro ponto importante do *lean* é gerenciar a produção a partir da voz do cliente. Os trabalhadores envolvidos nas etapas de manufatura são clientes internos que precisam ser “ouvidos” para otimizar a produtividade e a lucratividade da empresa.

A saúde biológica, psicológica e social do trabalhador representa aparentemente objetivos conflitantes a serem alcançados em modelos tradicionais de tomada de decisão com múltiplos critérios. Parte do conflito pode decorrer da falta de parametrização da avaliação dos recursos humanos (RH). A incorporação de variáveis objetivas em tempo real sobre o inventário de RH permitiria resultados mais eficazes no processo de ERP estratégico.

O Planejamento de Recursos Humanos (PRH), também conhecido como planejamento de mão de obra, consiste em colocar o número e perfil certo de pessoas no lugar e na hora certos, fazendo as coisas certas para atingir os objetivos da organização. A abordagem do PRH visa suprir de pessoas adequadamente desenvolvidas e motivadas para desempenhar as funções e tarefas necessárias para atender aos objetivos organizacionais. Portanto, todos os tipos de planos de incentivos tornam-se parte integrante do RH, o que promove o sucesso da organização e a consolidação da cultura organizacional.

Um PRH eficiente tem como objetivos atender as necessidades atuais e futuras, tanto quantitativa quanto qualitativamente, além de garantir o uso ideal do pessoal atualmente empregado. Claramente o PRH requer a identificação das necessidades imediatas e futuras para que medidas sejam idealizadas, consideradas e, posteriormente, implementadas.

Uma organização pode se estabilizar quando as relações interpessoais se consolidam. As relações humanas tornam-se fortes por meio de controle eficaz, comunicação clara, supervisão e liderança eficazes em uma organização. A gestão eficiente de pessoal, bem como a gestão de marketing, pode se tornar um ativo da indústria, um fator importante no mundo da industrialização. O controle em empresas de grande escala requer a gestão de grande escala de mão de obra.

As técnicas de previsão de mão de obra comumente empregadas nas organizações são: (a) previsões de especialistas, decisões informais, pesquisas formais de especialistas e Método Delphi; (b) análise de tendências com projeção a partir da extrapolação de tendências anteriores, indexação usando o ano-base e análise estatística, como a medida de tendência central; (c) análise da carga de trabalho de uma atividade; (d) análise da força de trabalho por períodos.

Dentre as técnicas enumeradas, não há variáveis objetivas que possam ser utilizadas para tomadas de decisão em tempo real. Tampouco existem dados que denotem o estado de estresse ou de carga cognitiva dos trabalhadores. A fácil tangibilidade de recursos materiais como infraestrutura e matéria-prima são mais bem gerenciados, ante a atual intangibilidade do fator humano. Sob outra óptica, é mais difícil que gestores demonstrem ganhos na ausência de problemas humanos do que a identificação de perdas quando eles ocorrem.

3. O TRABALHADOR

A Organização Mundial da Saúde define qualidade de vida (QV) como a percepção do indivíduo sobre sua posição na vida, em um contexto de cultura e valores em relação a seus objetivos, expectativas, padrões e preocupações. Uma outra interpretação aponta que QV é a lacuna entre o que uma pessoa é capaz de fazer e ser e o que ela gostaria de fazer e ser (Ruta et al., 2007). Comumente a lacuna entre expectativas e realidade representa uma ameaça à autointegridade, conforme a teoria da neuromatriz (detalhado subsequentemente). Assim como toda ameaça, respostas neurofisiológicas e comportamentais são incitadas, independentemente da vontade do indivíduo.

A Qualidade de Vida no Trabalho (QVT) integra o diagnóstico clínico à construção de elementos estruturais para o desenvolvimento de uma atividade produtiva focada em facilitar ou trazer satisfação e bem-estar aos colaboradores na execução de suas tarefas. Quando não satisfeita, a QVT é uma importante fonte de estresse, juntamente com outras doenças psicológicas e fisiológicas.

Atualmente a QVT tem adquirido maior notoriedade, uma vez que as pessoas passam mais de um terço de suas vidas no local de trabalho. Ela resulta de uma combinação de procedimentos, estratégias, ambientes e relacionamentos que sustentam a satisfação dos funcionários, visando a melhoria das condições de trabalho (Nazir et al., 2011).

Os estudos sobre a influência da QVT na produtividade são limitados e requerem pesquisas mais inclusivas. Por ser muito subjetiva, é difícil mensurar oscilações mínimas significativas que impactam no desempenho da indústria de manufatura. Deste modo, a identificação de eventos impactantes costuma ocorrer tardiamente, culminando com absenteísmo e condições patológicas de saúde física e mental que levam ao presenteísmo.

QVT é geralmente associada a uma série de objetivos organizacionais, condições e práticas que permitem aos funcionários perceber que estão virtualmente seguros, satisfeitos e têm melhores chances de crescimento e de se desenvolverem individualmente. Afeta atitudes e comportamentos pessoais relevantes para a produtividade individual e coletiva, como motivação para o trabalho, adaptabilidade às mudanças no ambiente de trabalho, criatividade e vontade de inovar e aceitar mudanças.

A percepção da oferta de cuidados de QVT pelos colaboradores facilita o maior engajamento através da construção de uma cultura de assistência mútua. Os colaboradores tendem a manter a lealdade à organização, impactando na menor rotatividade de pessoal. Isso ilustra a diminuição do desperdício direto de talento e a diminuição dos desperdícios de tempo e financeiro demandados por treinamento de novos colaboradores. A baixa rotatividade de pessoal indica que as empresas são capazes de oferecer um ambiente de trabalho adequado aos seus funcionários (Noor & Abdullah, 2012).

Layer et al., implica que o desempenho humano está associado às demandas cognitivas. Assim, o desempenho humano resulta do efeito combinado das demandas cognitivas e dos atributos de qualidade do trabalho vivenciados pelos trabalhadores. Descobriu-se que essa relação causal depende do contexto, mas não necessariamente do tempo exposto à tarefa específica em que o operador estava envolvido (Layer et al., 2009).

Em um modelo conceitual, pesquisadores sugerem que a institucionalização da ética de trabalho influencia positivamente a QVT. A ética se refere às regras ou padrões que regem a conduta dos indivíduos, enquanto a QVT se refere às percepções em que o ambiente de trabalho atende às necessidades de bem-estar pessoal (Koonmee et al., 2010). Os resultados demonstram que uma institucionalização implícita da ética foi positivamente relacionada com a QVT e diferentes resultados relacionados ao trabalho (satisfação no trabalho, compromisso organizacional e espírito de equipe).

A seguir serão discutidos os fatores que embasam a influência do papel da organização na QVT do trabalhador e, consequentemente, na sua performance.

3.1 Estresse

O sistema nervoso central do ser humano é dividido em sistema voluntário e o sistema autônomo (SNA). O SNA controla funções necessárias para a adaptação ao ambiente, garantindo a sobrevivência, as quais um indivíduo tem menos controle consciente. Ele é dividido em SNA simpático (SNA-S) e SNA parassimpático (SNA-P).

O estresse pode ser fisiologicamente caracterizado por um predomínio da atividade do SNA-S que prepara o corpo para uma possível demanda extraordinária percebida do ambiente. É descrito como a preparação para “lutar ou fugir”. O SNA-P se relaciona com períodos de recuperação, por isso ele é descrito como um estado de “descansar e digerir”.

As reações de estresse são a forma como o corpo humano tenta lidar com as demandas do meio ambiente. O estresse positivo pode ser considerado como suprir a demanda, ao passo que o estresse negativo causa emoções e reações prejudiciais ao corpo humano.

A magnitude da resposta neuroendócrina reflete as demandas metabólicas e fisiológicas necessárias para uma determinada atividade. A atividade sustentada do SNA-S caracteriza os estados de estresse crônico que se relacionam à redução da capacidade de recuperação da reação neuroendócrina (Pichon et al., 2006). Com o estresse crônico, o desequilíbrio hormonal se torna prejudicial e interfere negativamente em funções fisiológicas e cognitivas.

O monitoramento não invasivo da atividade do SNA propicia a quantificação de variáveis que inferem o estado fisiológico e mental dos indivíduos. Ele é útil para identificar e, por conseguinte, maximizar o desempenho, a saúde e a segurança do trabalhador.

3.2 Teoria da Neuromatriz

O binômio CORPO x EU, é uma ampla rede de circuitos neurais cerebrais. A distribuição espacial e a conectividade neurais são determinadas geneticamente e afinadas de maneira contínua por entradas sensoriais, como em uma matriz - Teoria da Neuromatriz (NM). Existem processamentos paralelos em diferentes sítios da NM que ocorrem repetidamente para permitir interações entre produtos de saída com novos estímulos de entrada. O processamento cíclico repetido e a maneira de geração de impulsos nervosos através da NM conferem um padrão característico - a neuroassinatura. Ela é produzida pelos padrões das conexões entre os neurônios e é transmitida a todos os padrões de impulsos nervosos que fluem através dela.

O cérebro suporta representações neurais que mapeiam tanto partes corporais como o espaço ao seu redor. O termo espaço peripessoal tem sido usado para definir o espaço visual ao redor do corpo (Brozzoli et al., 2012). Para alguns pesquisadores, isso ocorre com o objetivo final de planejar e executar movimentos cujo objetivo é proteger o corpo de ameaças físicas presentes no ambiente.

A neuroassinatura dos trabalhadores processa situações decisórias constantemente durante a execução de suas atividades. As informações do ambiente de trabalho e do contexto biopsicossocial individual atuam como inputs diretos ou como camadas ocultas a partir da inteligência inata afinada por experiências adquiridas, tanto em primeira como em terceira pessoa. A inteligência inata de cada trabalhador funciona similarmente à inteligência artificial, onde a categorização binária linear das variáveis seria como *perceptrons*, com pesos diferentes ao longo do tempo.

Contextualizando a teoria da NM no ambiente de trabalho, podemos afirmar que a percepção de QVT pode representar uma ameaça ou a autorrealização dos trabalhadores. Quando a sensação de bem-estar promovida pela autorrealização predomina, as funções cognitivas e motoras são processadas livres de ruídos. Em outras palavras, o fluxo de informações pelo sistema nervoso do colaborador tem um sinal mais limpo, sem interferências, permitindo que ele seja o seu melhor.

Por outro lado, quando há a sensação de ameaça, quer seja por um ambiente encarado como opressor ou hostil, quer seja por fatores externos que impactam a produtividade laboral, as funções cognitivas e motoras são moduladas por neurônios associativos. Analogamente a uma rede neural computacional, a sensação de ameaça atua como um *bias neuron* que limita o desempenho de funções executivas do trabalhador.

3.3 Tomada de decisão

Uma decisão é um processo cognitivo que pondera múltiplas variáveis. Antecedentes, evidências e valores pesam em uma determinada proposição categórica destinada a atingir objetivos específicos. Isso é verdade tanto para tomadas de decisões individuais quanto para gestores definirem os rumos de uma corporação.

Damásio propôs a hipótese do marcador somático para a tomada de decisões vantajosas nos domínios pessoal, social e financeiro (Damasio et al., 1991). Segundo Damásio, os sinais relacionados à emoção levam a mudanças indexadas no estado visceral, como mudanças da frequência cardíaca, pressão arterial, motilidade intestinal e secreção glandular. Esses marcadores somáticos influenciam o comportamento, mesmo quando uma pessoa não consegue tomar consciência deles.

A teoria da detecção de sinais (TDS) se refere a um processo para converter uma única observação de evidência em uma escolha categórica (Parker & Newsome, 1998). De acordo com a TDS, o tomador de decisão obtém uma observação das evidências que derivam dos sentidos e pode ser a soma do pico de um neurônio ou um pool de neurônios, ou ainda uma quantidade derivada, como a diferença entre as taxas de pico de dois pools de neurônios.

Os estudos que combinam comportamento e neurofisiologia começaram a descobrir como os elementos da formação de decisão são implementados no cérebro. Tarefas perceptivas têm sido particularmente úteis para distinguir entre a evidência sensorial e uma variável de decisão, que acumula e armazena a evidência ao longo do tempo até que o compromisso final seja alcançado.

No entanto a avaliação da QVT e seu poder de tomada de decisão não são utilizados na tomada de decisão gerencial porque avaliar tarefas perceptuais e motoras demoram, são razoavelmente subjetivos e, principalmente, são realizadas fora do ambiente de trabalho. Elas não refletem o cotidiano normal, tampouco são realizadas em tempo real. A seguir serão discutidas formas de avaliação quantitativas que podem ser utilizadas como fontes de informação para o ERP.

4. A TECNOLOGIA

4.1 Sistemas Ciberfísicos

Um sistema ciberfísico (SCF) se caracteriza “como uma nova disciplina de pesquisa na interseção das ciências físicas, biológicas, de engenharia e da informação” (Sztiapanovits, 2007). A geração precursora é conhecida como sistemas embarcados, e são aplicadas em diversas áreas, incluindo a manufatura. Enquanto os sistemas embarcados tendem a focar mais em elementos computacionais, SCF enfatizam o papel das ligações entre elementos computacionais e físicos.

Muitas áreas da manufatura são inerentemente distribuídas e equipadas com recursos de comunicação. Alguns de seus componentes são amplamente autônomos, outros precisam ser coordenados e controlados. Os SCF se compõem por elementos computacionais colaborativos com o intuito de controlar entidades físicas.

A relação entre trabalhadores e máquinas sugere a necessidade de uma abordagem interdisciplinar colaborativa para o desenvolvimento de novas modelagens de sistemas integrativos. As abordagens integrativas têm a capacidade de análises multiparamétricas mais profundas. Por esta razão, os SCF não são apenas um conjunto restrito e isolado de componentes técnicos, eles estão inseridos em um contexto social, onde as pessoas estão inseridas em estruturas organizacionais e interagem com infraestruturas complexas para realizar seus respectivos processos de trabalho.

Na Indústria 4.0, os SCF visam integrar sistemas embarcados, dispositivos de controle, computação, comunicação e rede. Neste contexto, o SCF seria uma rede de recursos físicos e processos que permitem a fusão de objetos físicos e virtuais (MacDougall, 2014). Pesquisadores apresentam uma demanda por uma arquitetura industrial padronizada que suporte diferentes aspectos, desde a instalação de equipamentos até o gerenciamento dos dispositivos em uma rede distribuída (Zheng et al., 2018).

Há como analisar variáveis humanas de maneira quantitativa e longitudinal, tal como se faz com análises de controle e de tendência. A seguir serão listados dispositivos de sensoriamento que auxiliam na mineração de dados.

4.2 Sensoriamento

O monitoramento fisiológico multimodal permite a detecção contínua e consistente de fenômenos relacionados ao estresse fisiológico. Por exemplo, um índice de excitação do SNA-S captado por sensores pode auxiliar na identificação

de oscilações cognitivas e comportamentais, particularmente envolvendo medo e ansiedade. Embora o medo e a ansiedade façam parte da experiência humana normal, eles podem aumentar desproporcionalmente à ameaça percebida e perpetuar.

A secreção de eletrólitos e substâncias químicas no suor, a temperatura da pele, a condutância da pele e os sinais da onda de pulso arterial são sinais corporais identificáveis que permitem uma análise multimodal de dados fisiológicos (Kreibig et al., 2007). Esses sinais podem categorizar situações de estresse agudo ou crônico.

4.3 Variabilidade da Frequência Cardíaca

O coração se contrai de acordo com um ritmo automático de repouso. As flutuações da FC durante um período são chamadas de variação de FC (*Heart Rate Variability* – HRV). Elas são controladas pelos SNA-S e SNA-P em resposta a perturbações que são detectadas por receptores neurais e áreas cerebrais associativas. Durante a atividade física, a atividade parassimpática é suprimida e na sequência a atividade simpática é aumentada para atender as demandas metabólicas momentâneas (Mitchell, 2013). A FC aumenta e a HRV diminui com o aumento da intensidade do exercício.

O monitoramento da HRV é útil para observar a interação entre SNA-S e SNA-P (Rajendra Acharya et al., 2006). A HRV continua a ser o método mais comum para determinar o estresse. A baixa HRV é sugestiva de um período de maior estresse, enquanto a HRV alta sugere um período de calma. Em outros termos, quanto maior a variação, maior é a capacidade de adaptação de um indivíduo, mais saudável ele é.

A HRV também é afetada pela carga de trabalho e carga cognitiva que levam a estados de estresse prolongado. Ela depende do contexto, portanto, o ambiente em sua integralidade deve ser considerado antes do monitoramento e subsequente diagnóstico.

4.4 Condutância da Pele

A condutância da pele (*Skin Conductance Response* – SCR) tem sido o sinal fisiológico mais comumente medido em experimentos de condicionamento do medo em humanos (Heikenfeld, 2016). Mudanças na SCR ocorrem devido a secreções de suor e podem ser facilmente medidas com eletrodos colocados sobre a pele (Amin & Faghih, 2019). A SCR aumenta com a ativação do SNA-S.

Os níveis emocionais mudam a atividade elétrica da pele. Essa mudança aumenta a atividade das glândulas sudoríparas écrinas. Assim, medir biomarcadores de suor écrino usando sensores vestíveis pode ser útil para medir os níveis de estresse de uma maneira não invasiva para avaliar a acuidade mental em tempo real. O desenvolvimento de sensores capazes de medir SCR e biomarcadores inferem estresse e fadiga, o que pode ser útil para fornecer uma estimativa do estado mental e fisiológico do indivíduo.

4.5 Eletroencefalograma e Eletromiografia

A eletroencefalografia (EEG) é uma ferramenta não invasiva valiosa por fornecer informações confiáveis e relevantes sobre o funcionamento do cérebro durante o repouso, estimulação sensorial e tarefas cognitivas. Eletrodos são posicionados no couro cabeludo humano com a finalidade de medir as oscilações do potencial elétrico do cérebro.

Apesar de fornecer um grande banco de dados e de ser uma técnica segura, eles ainda não parecem ser atraentes para o ambiente de manufatura. Esse método é limitado para uso cotidiano por causa do tamanho dos dispositivos e do tempo demandado para o adequado posicionamento dos eletrodos.

Eletromiografia (EMG) é a técnica de medição da atividade elétrica subjacente à atividade muscular. Para que uma contração muscular ocorra, normalmente um potencial de ação trafega do cérebro à medula espinhal e nervos espinhais. É possível captar os sinais elétricos relacionados com esse processo quando se posicionam eletrodos próximos ao músculo. A análise do sinal EMG consiste em adquirir, processar e classificar os achados.

Para o ambiente de manufatura, a EMG pode ser útil em ferramentas de biofeedback, como na gamificação de treinamentos. A EMG também pode contribuir para análise de conformidade ergonômica ou como ferramenta de investigação adicional em situações de diagnóstico a partir da apresentação particular de problemas.

4.6 Biomarcadores Químicos

O suor fornece uma fonte ideal para a medição contínua e não invasiva de biomarcadores, como sódio, cloreto, potássio, lactato, cálcio, glicose, amônia, etanol, ureia, cortisol e vários neuropeptídeos e citocinas. A detecção de biomarcadores das glândulas sudoríparas é mais fácil em comparação com secreções por causa da abundância dessas glândulas no corpo, eficiência de amostragem, facilidade de acesso, detecção sem contaminação e a incapacidade de degradação de analitos (Sonner, 2015).

A detecção de sódio por meio do uso de sensores epidérmicos foi relatada na literatura para monitoramento não invasivo contínuo no suor écrino (Bandodkar, 2014). Sódio e cloreto são os eletrólitos mais abundantes no suor. Portanto, quantificar a perda de sódio pelo suor é útil para acelerar a recuperação física e minimizar lesões dos tecidos moles

causadas por desidratação. Baker et al. desenvolveram um modelo para calcular a concentração de sódio no suor usando adesivos absorventes do antebraço (Baker et al., 2009).

O suor normalmente tem uma concentração de potássio semelhante ao plasma sanguíneo (Baker, 2017). Assim, a medição dos níveis de potássio pode auxiliar na avaliação da intensidade de atividades físicas.

O lactato é uma molécula produzida durante a atividade anaeróbica (Mitsubayashi et al., 1994). As concentrações de lactato plasmático se aproximam muito daquelas do lactato no suor e fornecem uma indicação do esforço corporal e da intensidade do exercício (Jia, 2013). Um dispositivo híbrido portátil composto de eletrocardiograma e de biossensores de lactato serviu como uma plataforma para monitoramento multiparamétrico. Gao et al. desenvolveram um sensor de suor flexível para a detecção em tempo real de sódio, lactato, potássio, glicose e temperatura da pele (Gao, 2016). Sua adaptação em um vestível pode aumentar muito a utilidade para o monitoramento contínuo durante a jornada de trabalho.

O cortisol secretado pelas glândulas suprarrenais em resposta ao estresse também pode ser medido no sangue humano, soro, urina, saliva, cabelo, fluido intersticial e, mais recentemente, suor écrino (Seshadri et al., 2019). Parlak et al. desenvolveu um sensor eletroquímico orgânico multifuncional em camadas para a detecção não invasiva de cortisol do suor écrino (Parlak et al., 2018). Os resultados sugerem que o cortisol pode ser um marcador mais sensível para o estresse.

Algumas pesquisas que usaram biossensores para medir o estresse e para a cognição se concentraram na medição de outros biomarcadores, como interleucinas, orexin-A, dopamina e neuropeptídeo Y (Seshadri et al., 2019). Os peptídeos orexin e seus receptores correspondentes no cérebro contribuem para o controle autônomo, atenção, alimentação, memória, sono e estresse. Medir os níveis séricos de orexin-A pode ajudar a prever o humor e o desempenho cognitivo (Hagen, 2013).

A utilização de sensores vestíveis para medir os biomarcadores mencionados acima representa uma oportunidade significativa para monitorar os níveis de estresse em indivíduos (Yarrow et al., 2009). Apesar de existir no mercado alguns dispositivos que podem monitorar e detectar níveis de estresse em tempo real, ainda não foram validados em estudos clínicos para a avaliação do desempenho humano.

5. DISCUSSÃO

A intensificação de uma crescente competitividade nos negócios e as rápidas mudanças demográficas, volatilidade externa e a crescente complexidade de produtos e processos exigem das empresas uma maior capacidade de adaptação às novas realidades e necessidades para alcançar a qualidade. A adaptação é mais facilmente alcançada quando a organização possui um fluxo de informações que orientam as tomadas de decisão.

A evolução das tecnologias de automação tem contribuído substancialmente para o planejamento de recursos a fim de obter maior produtividade. SCF e mudança de competências e qualificações da mão de obra têm um papel significativo nas inovações tecnológicas nas indústrias (Karre et al., 2017).

Dentro de um sistema de planejamento, os funcionários também podem ter sua eficiência otimizada de maneira semelhante aos recursos materiais. Uma boa gestão da QVT torna os colaboradores mais saudáveis e comprometidos; vivendo, trabalhando e produzindo mais; reduzindo, portanto, os gastos organizacionais (Horst et al., 2014). Portanto, QVT, satisfação no trabalho, comprometimento e espírito de equipe são geralmente reconhecidos como fatores essenciais na produtividade e no desempenho organizacional (Koonmee et al., 2010).

O desempenho humano é função das demandas físicas e psicológicas. Quanto maior a adaptação às demandas, melhor será o desempenho executivo nas dimensões física e psicológica. Do ponto de vista físico, a saúde de um colaborador depende do equilíbrio entre as atividades inerentes ao seu trabalho, seu condicionamento físico e períodos de repouso para recuperação. Contudo a demanda psicológica é mais abrangente. Ela depende do contexto individual e do equilíbrio entre a percepção de ameaça à autointegridade e a autorrealização.

Mudanças na emoção se manifestam por vários meios fisiológicos quando o cérebro interpreta estímulos ambientais como uma ameaça à sobrevivência. As emoções também desempenham um papel importante em nossa vida cotidiana e são essenciais para a autoexpressão, a interação social e a tomada de decisões.

A oscilação das demandas funciona como gatilho para uma reação de estresse fisiológico ou patológico. Quando a demanda é demasiadamente grande, predomina uma resposta sustentada do SNA-S que leva à liberação prolongada ao cortisol que contribui para estados de estresse crônico. Na presença de estresse crônico, ocorre uma inflamação crônica que expõe o indivíduo a um risco maior de infecções, obesidade, doenças cardiovasculares, transtornos do humor, dor crônica e doenças autoimunes.

Muitas pesquisas têm auxiliado a compreensão dos correlatos neurais da emoção e as respostas hemodinâmicas e elétricas que acompanham suas mudanças (Bechara et al., 2000; García-Cabezas & Barbas, 2017; LeDoux, 2000; Rolls, 2000). Processos neurais de alto nível, como cognição, emoção e motivação não são, entretanto, diretamente observados. As alterações fisiológicas e bioquímicas que acompanham esses processos neurais são observáveis em tempo real e fornecem um meio para sua estimativa. Essa estimativa do estado neural através do uso de dispositivos vestíveis pode ter implicações importantes para o monitoramento do estado do trabalhador. Assim como o OEE avalia a eficiência do equipamento, os biomarcadores podem auxiliar a criação de parâmetros semelhantes. Como analogia, um índice de eficiência humana (OHE – *Overall Human Efficiency*) pode auxiliar na avaliação temporal de controle de recursos.

As medidas fisiológicas podem ser melhor empregadas para visualizar as tendências e padrões de carga cognitiva. As técnicas incluem medições fisiológicas sendo que as mais comuns são medições da atividade cardíaca, atividade cerebral e atividade ocular (Wickramasuriya et al., 2019). As técnicas mais recentes também incluem medições do nível de cortisol e da SCR. A HRV, o nível de cortisol e a SCR podem ser usados para validar diferentes parâmetros na fase de desenvolvimento de um método (Wickramasuriya et al., 2020). Dispositivos vestíveis para análise de suor écrino oferecem abordagens promissoras. O monitoramento das taxas de suor, hidratação e concentrações de íons é útil para monitorar o desempenho e a saúde das pessoas em atividades extenuantes.

Pesquisadores (Kitazawa et al., 2017) demonstraram um sistema capaz de medir os dados de produtividade na linha de manufatura celular e capaz de coletar dados de progresso de produção e histórico de trabalho mais rapidamente do que o método visual convencional através de acelerômetro e sinal de rádio.

Um modelo de análise de múltiplas variáveis oferece aos tomadores de decisão a capacidade de melhorar o desempenho e a produtividade do negócio por meio de modelos mais precisos (C. W. Lee & Kwak, 2011). Com essa perspectiva, um modelo que integra variáveis objetivas de fatores humanos em sistemas ciberfísicos-humanos de ERP pode ser uma das opções mais promissoras, aumentando a concorrência no novo ambiente de mercado. Estudos de planejamento de ERP aprimoram questões de longo prazo da organização, incluindo financiamento, admissões, capacidade e recursos humanos, que eram aplicados de forma limitada aos estudos anteriores. (C. W. Lee & Kwak, 2011)

Ainda não existem resultados robustos do emprego da parametrização humana como variável auxiliar na criação de modelagens de tomada de decisão. Esta revisão busca elencar os motivos que justificam e fornecer uma estrutura de raciocínio para estimular a realização de estudos subsequentes. Por ser uma abordagem inovadora, ainda devem ser considerados parâmetros éticos para preservar a integridade do trabalhador.

6. CONCLUSÃO

Sobrecarga física e mental podem levar à diminuição do desempenho e subsequentes prejuízos à saúde do trabalhador e prejuízo financeiro à indústria a longo prazo. Uma avaliação objetiva sistemática do estado de saúde é crucial para prevenir baixa produtividade, lesões, absenteísmo e presenteísmo. O monitoramento busca identificar regimes de trabalho mais eficientes. As razões discutidas corroboram nossa hipótese de que a incorporação de tecnologias de sensoriamento multimodais pode permitir tomadas de decisão capazes de melhorar a produtividade, lucratividade e QVT percebida.

Os ganhos para a indústria de manufatura viriam diretamente pela maior produtividade e qualidade, além de indiretamente através de menor absenteísmo, gastos com assistência médica, rotatividade de colaboradores e gastos com treinamentos. Por este ponto de vista, incorporar o fator humano às tomadas de decisão da indústria traz benefícios aos gestores, aos trabalhadores e seus respectivos familiares, à sociedade, aos produtos e à marca, que é um ativo da indústria.

7. REFERÊNCIAS

- Amin, M., & Faghih, R. (2019). Sparse deconvolution of electrodermal activity via continuous-time system identification. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 66(9), 2585–2595.
- Baker, L. (2017). Sweating rate and sweat sodium concentration in athletes: a review of methodology and intra/interindividual variability. *Sports Med Auckl NZ*, 47, 111–128.
- Baker, L., Stofan, J., Hamilton, A., & Horswill, C. (2009). Comparison of regional patch collection vs whole body washdown for measuring sweat sodium and potassium loss during exercise. *J Appl Physiol Bethesda*, 107, 887–95.
- Bandodkar, A. (2014). Epidermal tattoo potentiometric sodium sensors with wireless signal transduction for continuous non-invasive sweat monitoring. *Biosens Bioelectron*, 54, 603–609.
- Bechara, A., Damasio, H., & Damasio, A. (2000). Emotion, decision making and the orbitofrontal cortex. *Cerebral Cortex*, 10(3), 295–307.
- Brozzoli, C., Makin, T., Cardinali, L., Holmes, N., & Farnè, A. (2012). Peripersonal space: A multisensory interface for body-objects interactions. In M. M. M. & M. T. Wallace (Ed.), *The Neural Bases of Multisensory Processes* (Edition: 2). CRC Press.
- Damasio, A., Tranel, D., & Damasio, H. (1991). *Somatic markers and the guidance of behaviour: theory and preliminary testing* (H. M. E. & A. L. B. H.S. Levin (ed.)). Oxford University Press.
- Gao, W. (2016). Fully integrated wearable sensor arrays for multiplexed insitu perspiration analysis. *Nature*, 529, 509–14.
- García-Cabezas, M., & Barbas, H. (2017). Anterior cingulate pathways may affect emotions through orbitofrontal cortex. *Cerebral Cortex*, 27(10), 4891–4910.
- Hagen, J. (2013). Detection of orexin A neuropeptide in biological fluids using a zinc oxide field effect transistor. *ACS Chem. Neurosci*, 4, 444–453.
- Heikenfeld, J. (2016). Non-invasive analyte access and sensing through eccrine sweat: challenges and outlook circa 2016. *Electroanalysis*, 28, 1242–1249.
- Horst, D., Broday, E., Bondarick, R., Serpe, L., & Pilatti, L. (2014). Quality of Working Life and Productivity : An Overview of the Conceptual Framework. *International Journal of Managerial Studies and Research*, 2(5), 87–98.

- Jia, W. (2013). Electrochemical tattoo biosensors for real-time noninvasive lactate monitoring in human perspiration. *Anal. Chem*, 85, 6553–6560.
- Karre, H., Hammer, M., Kleindienst, M., & Ramsauer, C. (2017). Transition towards an industry 4.0 state of the leanlab at graz university of technology. *Procedia Manufacturing*, 9, 206–213.
- Kitazawa, M., Takahashi, S., Yoshikawa, A., & Terano, T. (2017). Real Time Workers' Behavior Analyzing System for Productivity Measurement Using Wearable Sensor. *SICE J Control, Meas Syst Integration*, 10(6), 536–543.
- Klaus, H., Rosemann, M., & Gable, G. (2000). What is ERP? *Inf Syst Front*, 2(2), 141–162.
- Koonmee, K., Singhapakdi, A., Virakul, B., & Lee, D.-J. (2010). Ethics institutionalization, quality of work life, and employee job-related outcomes: A survey of human resource managers in Thailand. *J Business Res*, 63, 20–26.
- Kreibig, S., Wilhelm, F., Roth, W., & Gross, J. (2007). Cardiovascular, electro-dermal, and respiratory response patterns to fear- and sadness-inducing films. *Psychophysiology*, 44, 787–806.
- Laudon. (2007). *Sistemas de Informação Gerenciais* (E. Afiliada (ed.); 7 ed).
- Layer, J., Karwowski, W., & Furr, A. (2009). The effect of cognitive demands and perceived quality of work life on human performance in manufacturing environments. *Int J of Indust Ergonomics*, 39, 413–421.
- LeDoux, J. (2000). Emotion circuits in the brain. *Annual Review of Neuroscience*, 23(1), 155–184.
- Lee, C. W., & Kwak, N. K. (2011). *Strategic Enterprise Resource Planning in a Health-Care System Using a Multicriteria Decision-Making Model*. 265–275. <https://doi.org/10.1007/s10916-009-9362-x>
- Lee, I., & Lee, K. (2015). The internet of things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58, 431–440.
- MacDougall, W. (2014). Industrie 4.0: Smart manufacturing for the future. *Germany Trade & Invest*.
- Mitchell, J. (2013). Neural circulatory control during exercise: early insights. *Exp Physiol*, 98(867–878).
- Mitsubayashi, K., Suzuki, M., Tamiya, E., & Karube, I. (1994). Analysis of metabolites in sweat as a measure of physical condition. *Anal Chim Acta*, 289, 27–34.
- Motwani, J., Mirchandani, D., Madan, M., & Gunasekaran, A. (2002). Successful implementation of ERP projects: Evidence from two case studies. *Int J Prod Econ*, 75(1–2), 83–96.
- Nazir, U., Qureshi, T., & Shafaat, T. (2011). Office harassment: A negative influence on quality of work life. *African Journal of Business Management*, 5(25), 10276–10285.
- Parker, A., & Newsome, W. (1998). Sense and the single neuron: probing the physiology of perception. *Annu Rev Neurosci*, 21, 227–277.
- Parlak, O., Keene, S., Marais, A., Curto, V., & Salleo, A. (2018). Molecularly selective nanoporous membrane-based wearable organic electrochemical device for noninvasive cortisol sensing. *Sci. Adv*, 4, eaar2904.
- Pichon, A., Roulaud, M., Antoine-Jonville, S., de Bisschop, C., & Denjean, A. (2006). Spectral analysis of heart rate variability: Interchangeability between autoregressive analysis and fast Fourier transform. *Journal of Electrocardiology*, 39(1), 31–37.
- Rajendra Acharya, U., Paul Joseph, K., & Kannathal, N. (2006). Heart rate variability: a review. *Med Bio Eng Comput*, 44, 1031–1051.
- Rolls, E. (2000). On the brain and emotion. *Behavioral and Brain Sciences*, 23(2), 219–228.
- Ruta, D., Camfield, L., & Donaldson, C. (2007). Sen and the art of quality of life maintenance: Towards a general theory of quality of life and its causation. *Journal of Socio-Economics*, 36(3), 397–423.
- Seshadri, D. R., Li, R. T., Voos, J. E., Rowbottom, J. R., Alfes, C. M., Zorman, C. A., & Drummond, C. K. (2019). Wearable sensors for monitoring the physiological and biochemical profile of the athlete. *Npj Digital Medicine*, May. <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0150-9>
- Sonner, Z. (2015). The microfluidics of the eccrine sweat gland, including biomarker partitioning, transport, and biosensing implications. *Biomicrofluidics*, 9, 031301.
- Sztipanovits, J. (2007). 14th Annual IEEE International Conference and Workshops on the Engineering of Computer-Based Systems (ECBS '07). *IEEE Computer Society*, 3–6.
- Wickramasuriya, D. S., Amin, R., & Faghih, R. T. (2019). Skin Conductance as a Viable Alternative for Closing the Deep Brain Stimulation Loop in Neuropsychiatric Disorders. *Front Neurosci*. 2019 Aug 7;13:780, 13(Aug), 780. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00780>
- Wickramasuriya, D. S., Member, S., & Faghih, R. T. (2020). A Bayesian Filtering Approach for Tracking Arousal from Binary and Continuous Skin Conductance Features. *IEEE Trans Biomed Eng*, 67(6 Jun), 1749–1760.
- Yarrow, K., Brown, P., & Krakauer, J. (2009). Inside the brain of an elite athlete: the neural processes that support high achievement in sports. *Nat. Rev. Neurosci*, 10, 585–596.
- Zheng, P., Sang, Z., Zhong, R., Liu, Y., Liu, C., Mubarak, K., Yu, S., & Xu, X. (2018). Smart manufacturing systems for industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. *Front of Mech Eng*, 13, 137–150.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

RESOURCE PLANNING IN HUMAN-CYBER-PHYSICAL SYSTEMS: REASONING FOR HUMAN FACTOR EVALUATION

Jonas Lenzi de Araujo¹

James Lenzi de Araujo²

Michele Salles de Souza³

Pablo Deivid Valle³

Marcio Fontana Catapan⁴

Universidade Federal do Paraná

e-mails jonas@jonaslenzi.com¹, james@j-araujo.eng.br², michele.souza@cycor.com.br³, pablo.valle@ufpr.br⁴,
marciocatapan@ufpr.br⁵

Abstract: Enterprise resource planning is important to increase productivity and profitability. Real-time data acquisition and processing support better decisions - data-driven decision-making. The reasoning for the establishment of physiological parameters for the evaluation of human-derived data is discussed throughout this paper from a multidisciplinary perspective. Conclusion: IoT and human-cyber-physical systems make it possible to convert the subjectivity of the human factor into quantifiable variables. Worker's health status assessment tends to be crucial to prevent low productivity, injuries, presenteeism and absenteeism. Wearable biosensors measure physiological responses that imply worker's stress. The human-derived data along with cyber-physical resource planning systems could give new insights for better decision-making. The reasons discussed corroborate the hypothesis that incorporating multimodal sensing technologies may allow more precise decision-making for improving productivity, profitability and quality of life perceived in cyber-physical systems.

Keywords: Planning. Manufacturing. Productivity. Sensors. Cyberphysical

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.