

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL NO CONTEXTO DO PORTO 4.0

ENVIRONMENTAL PERFORMANCE ASSESSMENT IN THE CONTEXT OF PORT 4.0

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO AMBIENTAL EN EL CONTEXTO DE PUERTO 4.0

Leonardo Vilela Steiner

Coordenador de Meio Ambiente na EC Projetos

Engenheiro Sanitarista e Ambiental formado pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

E-mail: leonardo@ecprojetos.com.br

Tainara Cristina Silveira

Estagiária de Meio Ambiente na EC Projetos

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

E-mail: tainara@ecprojetos.com.br

Tiago Buss

Diretor na EC Projetos

Mestre em Engenharia de Transportes formado pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

E-mail: tiago@ecprojetos.com.br

Artigo recebido em 14/09/2021. Revisado por pares em 28/02/2022. Reformulado em 08/06/2022. Recomendado para publicação em 19/06/2022, por Ademar Dutra (Editor Científico). Publicado em 29/07/2022. Avaliado pelo Sistema double blind review.

©Copyright 2021 UNISUL-PPGA/Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios. Todos os direitos reservados. Permitida citação parcial, desde que identificada a fonte. Proibida a reprodução total. Revisão gramatical, ortográfica e ABNT de responsabilidade dos autores.

RESUMO

Assim como outros segmentos industriais, os portos e terminais evoluíram, entrando num estágio caracterizado pela transformação digital e adoção de práticas observadas na Indústria 4.0. A partir disto, deu-se origem ao conceito do Porto 4.0, o qual busca implementar tecnologias que aumentam e automatizam a realização de tarefas e possibilitem a maior integração de informações e processos, como o *Big Data*, *IoT*, computação em nuvem etc. A adoção dessas tecnologias traz benefícios ao setor portuário como aumento das vantagens competitivas, ganhos em sustentabilidade e aumento da intermodalidade entre os modais de transporte. Embora o tema esteja atualmente em voga, a aplicação de conceitos da Indústria 4.0 no setor portuário ainda é recente e pouco abordado quando se trata de gestão socioambiental. Nesse sentido, buscou-se avaliar a implementação de um sistema de Avaliação de Desempenho Ambiental portuário pautado nos conceitos do Porto 4.0, aliando as tecnologias disponíveis, criação de indicadores ambientais e atendimento aos requisitos legais aplicáveis. Como resultado, obteve-se uma proposta de *layout*, segmentada em três fluxos principais que se sucedem: Planejamento, *IoT/Big Data* e *Business Intelligence and Analytics*. Como ponto de partida inicial para o *layout*, considerou-se a licença ambiental e suas respectivas condicionantes ambientais, uma vez que representam os aspectos mais propensos a impactos. Em seguida foram elencadas as tecnologias disponíveis para automatização dos parâmetros estudados, prosseguindo para construção de uma base de dados ambientais. O *layout* se concretiza com a definição de indicadores e metas que permitem o controle mais efetivo do cumprimento das condicionantes ambientais. Além disso, as informações obtidas podem ainda ser dispostas em interfaces interativas para uso interno ou para apresentação aos órgãos ambientais/regulatórios. Por fim, apesar de a temática socioambiental ser incipiente no contexto Porto 4.0 e de haver limitação tecnológica, há potencial no mercado para dar início ao processo de automação neste segmento.

Palavras-chave: porto 4.0; Big Data; avaliação de desempenho ambiental; gestão ambiental portuária; indicadores ambientais.

ABSTRACT

As well as in other industries ports and terminals have evolved, entering in a stage of digital transformation and adoption of practices linked to the Industry 4.0 framework. Starting from this, the concept of Port 4.0 was born, which seeks to implement technologies that increase and automate the performance of tasks and enable greater integration of information and processes, such as Big Data, IoT, cloud computing etc. The adoption of these technologies leads to benefits to the port sector such as: increased competitive advantages, gains in sustainability and advances in intermodality between transport modes. Although this issue is currently a hot topic in the sector, the application of Industry 4.0 concepts in the port segment is still recent and little discussed when it comes to socio-environmental management. In this sense, this paper sought to evaluate the implementation of a Port Environmental Performance Assessment system based on the concepts of Port 4.0, combining available technologies, creation of environmental indicators and compliance with applicable legal requirements. As a result, a layout proposal was obtained, segmented into three main consecutive work flows: Planning, IoT/Big Data and Business Intelligence and Analytics. First, the environmental license

and its respective environmental conditions were considered, since they represent the environmental aspects most prone to cause negative impacts. Then, the technologies available for automating the parameters studied were listed, proceeding to build an environmental database. The final stage is materialized with the definition of indicators and targets that allow a more effective control of compliance with environmental conditions. In addition, the information obtained can also be displayed in interactive interfaces for internal use or for presentation to environmental/regulatory bodies. In conclusion, despite the socio-environmental theme being incipient in the Port 4.0 context and its current technological limitations, there is a potential to start the automation process in this segment.

Keywords: Port 4.0; Big data; environmental performance assessment; port environmental management; environmental indicators.

RESUMEN

Al igual que otros segmentos industriales, los puertos y terminales han evolucionado, entrando en una etapa caracterizada por la transformación digital y la adopción de prácticas observadas en la Industria 4.0. De ahí nace el concepto de Puerto 4.0, que busca implementar tecnologías que aumenten y automaticen la realización de tareas y permitan una mayor integración de información y procesos, como Big Data, IoT, Cloud Computing, etc. La adopción de estas tecnologías trae beneficios al sector portuario como mayores ventajas competitivas, ganancias en sostenibilidad y mayor intermodalidad entre medios de transporte. Aunque el tema está en boga actualmente, la aplicación de los conceptos de Industria 4.0 en el sector portuario es aún reciente y poco discutida en lo que se refiere a la gestión socioambiental. En este sentido, se buscó evaluar la implementación de un Sistema de Evaluación del Desempeño Ambiental Portuario basado en los conceptos de Puerto 4.0, combinando tecnologías disponibles, creando indicadores ambientales y cumpliendo los requisitos legales aplicables. Como resultado se obtuvo una propuesta de layout segmentada en tres flujos principales consecutivos: Planificación, IoT/Big Data y Business Intelligence and Analytics. Como punto de partida inicial para el layout se consideró la licencia ambiental y sus respectivas condiciones ambientales, ya que representan los aspectos más propensos a sufrir impacto ecológico. A continuación, se enumeraron las tecnologías disponibles para la automatización de los parámetros estudiados, siguiendo con la construcción de una base de datos ambiental. El layout termina con la definición de indicadores y metas que permitan un control más efectivo del cumplimiento de las condiciones ambientales. Además, la información obtenida también se puede mostrar en interfaces interactivas para uso interno o para presentación a organismos ambientales/reguladores. En conclusión, a pesar de que el tema socio ambiental sea incipiente en el contexto Puerto 4.0 y existan limitaciones tecnológicas, hay potencial en el mercado para comenzar el proceso de automatización en esta área.

Palabras clave: Puerto 4.0; Big Data; evaluación del desempeño ambiental; gestión ambiental portuaria; indicadores ambientales.

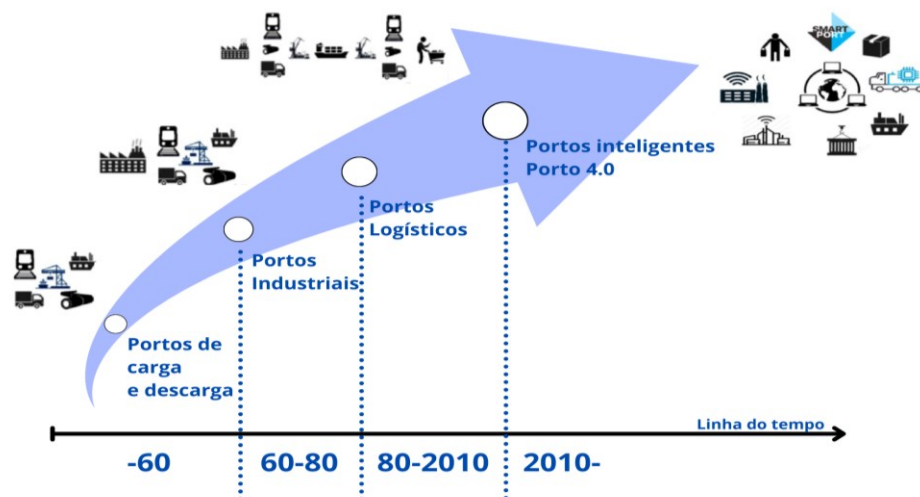
1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, diversos setores industriais vêm conduzindo iniciativas de modo a explorar os benefícios das tecnologias digitais (TIJAN *et al.*, 2021). Dessa maneira, em 2011, na Feira de Hannover, introduziu-se o termo Indústria 4.0, o qual é caracterizado pela evolução dos sistemas, gerando uma integração entre o ambiente virtual e o mundo físico (RÜBMANN *et al.*, 2015; XU; XU; LI, 2018).

Acompanhando a tendência da Indústria 4.0, recentemente surgiu o conceito do Porto 4.0 (ACCIARO; RENKEN; EL KHADIRI, 2020). O tema é bem discutido em estudos recentes, alguns abordando aspectos teóricos, como, por exemplo, as principais aplicações de projetos em portos e terminais voltados para o conceito do Porto 4.0 (ZARZUELO; SOEANE; BERMÚDEZ, 2020), *Port Community Systems* (PCS) (MOROS-DAZA; AMAYA-MIER; PATERNINA-ARBOLEDA, 2020) e a atual transformação digital observada no setor (TIJAN *et al.*, 2021; WANG; SARKIS, 2021). Outros investigam como a adoção de tecnologias digitais podem fornecer oportunidades de negócios valiosas para o setor portuário (PAROLA *et al.*, 2021).

A evolução funcional dos portos (Figura 1) mostra que, até os anos 60, estes eram considerados unicamente instalações de carga e descarga. Entre as décadas de 60 e 80, teve-se a integração do porto a alguns processos industriais e posteriormente, entre 1980 e 2010 tornaram-se um ponto chave na cadeia produtiva global (ZARZUELO; SOEANE; BERMÚDEZ, 2020).

Figura 1 - Evolução das funções do porto em escala temporal.



Fonte: Adaptado de Zarzuelo, Soeane e Bermúdez (2020).

Os motivos para se buscar a implementação de soluções tecnológicas são variados, consistindo-se principalmente no aumento de vantagens competitivas, ganhos em sustentabilidade, e no aumento da intermodalidade entre os modais de transporte (WANG; SARKIS, 2021). Ainda, fortalecendo-se o processo de tomada de decisão através da adoção de soluções pautadas em tecnologia tem-se, conseqüentemente, aumento na eficiência operacional, redução de custos e maior eficiência na gestão de relacionamento com *stakeholders* (PAROLA *et al.*, 2021). Nesse sentido, autoridades portuárias e terminais privados têm, cada vez mais, pautado a gestão e monitoramento de seus processos em fundamentos da Indústria 4.0 e *Smart Port*, seja no monitoramento de suas operações (PAROLA *et al.*, 2021), no controle de acesso de suas áreas ou na interação do porto ou terminal com a população que o cerca (MOLAVI; LIM; RACE, 2019).

Embora este seja um tema atualmente em voga, a aplicação de conceitos da Indústria 4.0 no setor portuário ainda é recente e pouco abordado quando se trata de gestão socioambiental (ACCIARO; RENKEN; EL KHADIRI, 2020). No entanto, em todo o mundo, crescem as pressões para redução dos impactos ambientais adversos causados pela atividade portuária (SILVA; FERREIRA, 2020). Desta maneira, o setor deve se adaptar às novas prerrogativas de proteção ambiental através da aplicação de inovações científicas e tecnológicas e adoção de práticas gerenciais de monitoramento e controle ambiental (SILVA; FERREIRA, 2020). A utilização de tecnologias da Indústria 4.0 para monitoramento ambiental são mencionadas pontualmente em poucos estudos, voltando-se principalmente a emissões atmosféricas com drones para avaliar qualidade do ar e acompanhamento de parâmetros oceanográficos e de qualidade da água por meio do uso de sensores (ZARZUELO; SOEANE; BERMÚDEZ, 2020), não havendo uma integração entre os dados obtidos.

Nesse aspecto, a Avaliação do Desempenho Ambiental (ADA) portuário é uma importante ferramenta da gestão ambiental e pode ser uma aliada, já que tem como principal ferramenta a utilização de indicadores de desempenho (FIGUEIREDO; VALOIS; MARINHO, 2016). Esses indicadores ajudam a refletir de forma fidedigna a eficiência das práticas de gestão socioambientais aplicadas por instalações portuárias e seus níveis de conformidade com a proteção ambiental, considerando-se: potenciais impactos sobre o meio ambiente, as

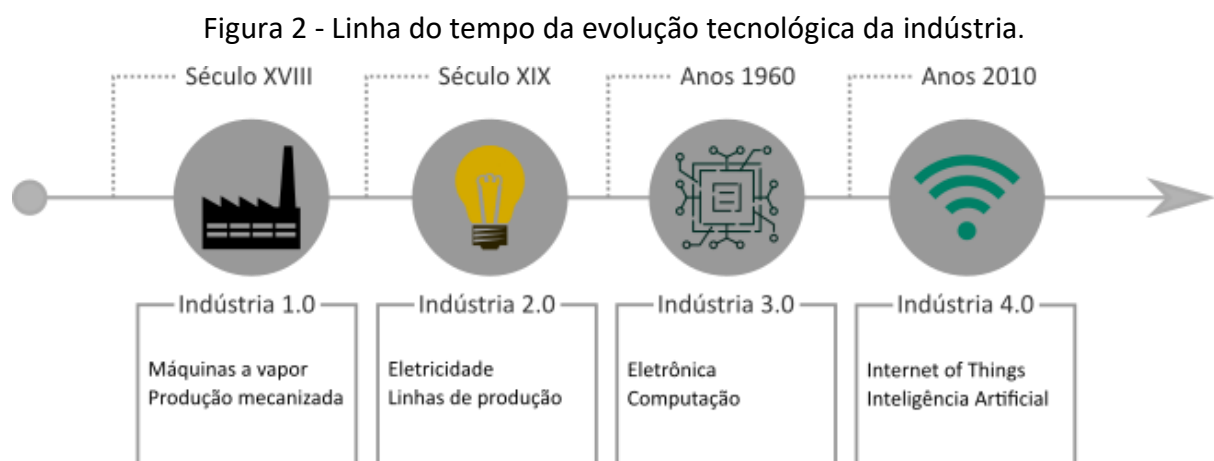
possibilidades de mitigação, métodos de previsão e legislação (PUIG; WOOLDRIDGE; DARBRA, 2014).

Tendo em vista esses aspectos e, devido à escassez de estudos relacionados à ADA no setor portuário pautados na utilização de tecnologias e conceitos do Porto 4.0, se objetiva com este artigo a elaboração de uma proposta de *layout* de implementação de um sistema de Avaliação de Desempenho Ambiental integrado aos conceitos do Porto 4.0, pautado sobretudo, na utilização das principais tecnologias disponíveis, na criação de indicadores ambientais e no atendimento aos requisitos legais aplicáveis.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O CONCEITO DE PORTO 4.0

Define-se Porto 4.0 como a implementação de aspectos da Indústria 4.0 nos setores portuário e de transportes marítimos. O conceito da Indústria 4.0, introduzida no início dos anos 2010, conhecida como a quarta revolução industrial, consiste na evolução das suas predecessoras, as quais foram marcadas pela eletricidade e a invenção da computação, automatização, virtualização e descentralização tanto de processos quanto de tecnologias (Figura 2) (GHOBAKHLOO *et al.*, 2021).



Fonte: Adaptado de Xu, Xu e Li (2018).

A consolidação dessas premissas envolve, por sua vez, a implementação de diversas tecnologias que aumentam e automatizam a realização de tarefas e possibilitam a maior

integração de informações e processos, as quais podem ser segmentadas em nove pilares (RÜBMANN *et al.*, 2015):

- a) automação de processos e sistemas;
- b) *Internet of Things* (IoT),
- c) cibersegurança;
- d) *Big Data e Analytics*;
- e) integração de sistemas;
- f) computação em nuvem;
- g) fabricação aditiva;
- h) realidade aumentada; e
- i) simulação.

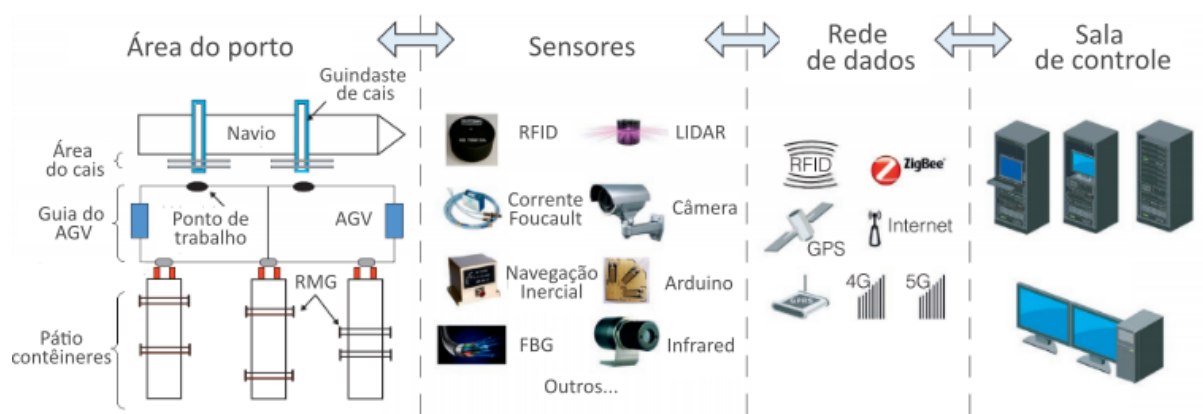
A aplicação desses conceitos e tecnologias no contexto do setor portuário tem avançado em anos recentes, mas é considerada como uma prática ainda em curso, ou seja, em fase de implementação e adaptação às necessidades que o próprio setor impõe (TIJAN *et al.*, 2021). Fato semelhante é observado em outros tipos de indústria que buscam implementá-los (ACETO; PERSICO; PESCAPÉ, 2020; TRIVELLI *et al.*, 2019). A seguir são descritas brevemente as tecnologias de Indústria 4.0 mais aplicadas no setor portuário na atualidade.

2.1.1 *Internet of Things* (IoT), *Big Data* e computação em nuvem

O IoT pode ser definido como um ambiente unificado, ou *framework*, em que há a interconexão entre sensores e dispositivos para que haja o compartilhamento de informações entre seus componentes e a possibilidade de visualização desses dados entre os membros da rede (GUBBI *et al.*, 2013). Pelo seu caráter inovador desde seu surgimento, o IoT vem sendo considerado como essencial para o estabelecimento de *Smart Ports*, ou portos inteligentes, aqueles em que a infraestrutura portuária e o controle de operações passam a ser automatizados diminuindo-se os erros associados à ação humana e aumentando a eficiência na coleta e transmissão de dados (DONG *et al.*, 2013).

A plena implementação do IoT e, conseqüentemente, do conceito de Porto 4.0 é pautada prioritariamente na aquisição de informações em tempo real das operações portuárias, a qual se dá principalmente por meio de redes de sensores (REY *et al.*, 2021). No setor portuário, o desenho de sensoriamento mais consolidado e, o balizador da implementação de tecnologia de ponta nessa área, pode ser observado em terminais de contêineres (Figura 3) (ZARZUELO; SOEANE; BERMÚDEZ, 2020).

Figura 3 - Layout padrão de um terminal de contêineres dotado de IoT.



Fonte: Adaptado de Yang *et al.* (2018).

Segundo Yang *et al.* (2018), nesse tipo de configuração, dependendo do nível de automatização das operações, sensores podem ser posicionados em áreas do terminal para controlar o nível de utilização e desgaste de equipamentos como guindastes de cais, guindastes sobre trilhos (RMG) e veículos autônomos (AGVs) através de tecnologias como: fibra ótica (FBG), arduino, sensores de tensão, entre outros. Outra aplicação comumente observada é a utilização de sensores para acompanhamento e controle da localização de contêineres e caminhões em pátios, estacionamentos e áreas de carga/descarga por meio de posicionamento em tempos real (GPS), videomonitoramento, radiofrequência (RFID), infravermelho e laser (LIDAR) (YANG *et al.*, 2018; XU; XU; LI, 2018). Contudo, a escolha da melhor tecnologia para cada aplicação dependerá da precisão do equipamento, da finalidade e das limitações técnicas do ambiente (YANG *et al.*, 2018).

A partir da instalação de sensores, a transmissão dos dados, um dos pilares da concepção do IoT, ocorre geralmente por conexão via internet *wireless*, sendo os protocolos

mais comuns o Wi-Fi, 3G e 4G, por abrangerem grandes áreas de cobertura (DONG *et al.*, 2013). No setor portuário, o Wi-Fi, devido ao seu espectro de cobertura, tende a ser a escolha mais adotada, porém, acaba limitando-se à área do porto o que torna a adoção de redes como 3G e 4G, já fornecidas por empresas de telefonia, opções mais atraentes em termo de custo, cobertura e flexibilidade nas operações (YANG *et al.*, 2018).

Definidas as tecnologias de sensoriamento e transmissão de informações, um grande volume de dados brutos passa a ser gerado em tempo real, o qual deve ser processado, organizado e analisado para identificação de tendências e padrões para que sejam utilizados como suporte à tomada de decisão (GOVINDAN *et al.*, 2018). Nesse sentido, ferramentas de *Big Data* e computação em nuvem tornam-se importantes pois aumentam a capacidade computacional de processamento de grandes *datasets*, algo que métodos tradicionais não são capazes de realizar (ARUNACHALAM; KUMAR; KAWALEK, 2018).

Embora sejam consideradas fortes tendências a serem implementadas no setor, aplicações em *Big Data* e computação em nuvem integradas ao IoT ainda são incipientes se comparadas a setores como o financeiro, de telecomunicações e de saúde, por conta de fatores como (PORT TECHNOLOGY, 2018): a necessidade de investimentos expressivos em tecnologia da informação e aquisição de grandes volumes de dados, treinamento e atualização da força de trabalho e falta de integração entre sistemas já existentes. No entanto, aplicações de IoT fazendo-se uso de *Big Data* acompanhada de computação em nuvem e outras tecnologias já são realidade em alguns portos do mundo, conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1- Aplicações de IoT, *Big Data* e computação em nuvem em portos

País	Porto	Iniciativa
Cingapura	Cingapura	Uso de <i>Big Data</i> na criação de sistemas de inspeção de carga e monitoramento de cargas em tempo real para previsão de tempos de chegada.
Colômbia	Cartagena	Plataforma IoT para previsão de falha em equipamentos portuários e agendamento de manutenções preventivas.
Estados Unidos	Los Angeles	Integração de dados de movimentação de toda a área do porto em tempo real para acompanhamento de desempenho operacional.

Holanda	Rotterdam	Utilização de IoT e análise de dados para determinação de janelas de atracação.
Alemanha	Hamburgo	Plataforma de monitoramento da navegação em tempo real, mapeamento de trânsito em vias terrestres e controle de rotas.
Espanha	Sevilha	Plataforma de IoT para monitoramento de transporte intermodal e controle das operações.

Fonte: Adaptado de Port Technology (2018) e YAU *et al.* (2020).

Percebe-se que a maioria das aplicações das tecnologias aqui descritas são empregadas no campo operacional e de controle de processos com ênfase na movimentação de produtos e gestão de modais. Contudo, em anos recentes, maior atenção tem sido dada à automatização de processos na área de meio ambiente e avaliação de desempenho ambiental. A autoridade portuária do Porto de Rotterdam, em parceria com a IBM, lançou em 2019 uma plataforma em IoT para aquisição e tratamento de dados meteorológicos e hidrológicos, através do posicionamento de 44 sensores na região do porto para medição de correntes, ondas e precipitação (PORT OF ROTTERDAM, 2019). Os dados são apresentados em *dashboards* (Figura 4) e são utilizados pela companhia na previsão de eventos meteorológicos, gerenciamento de berços de atracação e controle de tráfego portuário.

Figura 4 - *Dashboard* implementado no sistema IoT de Rotterdam



Fonte: Port of Rotterdam (2019).

Já no Porto de Valência, sistema semelhante foi adotado para controle de variáveis meteorológicas, de qualidade do ar e de ruídos através da implementação de duas estações de medição dotadas de sensores interligados a sistema de IoT e *Big Data* que reporta os dados em tempo real às autoridades governamentais responsáveis pela proteção do meio ambiente (VALENCIAPORT, 2021).

2.2 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL (ADA)

A ABNT NBR ISO 14031:2015 é uma normativa internacional que define diretrizes para avaliação do desempenho ambiental das organizações (ABNT, 2015). Segundo a norma, a ADA é um instrumento de gestão interna, desenvolvida para que a organização possua informações confiáveis e contínuas, de modo a determinar se a gestão ambiental se adéqua aos critérios, metas e objetivos estabelecidos no Sistema de Gestão Ambiental (SGA) (ABNT, 2015). Além do uso interno, os resultados obtidos do desempenho ambiental podem ser utilizados no apoio de relatórios de operação e na divulgação para *stakeholders* externos (SCIPIONI, 2008).

2.2.1 Indicadores ambientais

Indicadores ambientais são índices de desempenho concebidos no âmbito de uma organização para avaliação e comparação do desempenho ambiental presente frente ao passado para que se possa redefinir objetivos ambientais, corrigir práticas de gestão, avaliar o cumprimento de requisitos legais e comunicar as ações ambientais para o público interno e externo (ABNT, 2015). Dessa maneira, indicadores ambientais consistem na principal ferramenta de aplicação da ADA no âmbito da estruturação de sistemas de gestão ambiental.

No que rege a ABNT NBR ISO 14031:2015, Indicadores de Desempenho Ambiental (IDA) podem ser meios de uma organização demonstrar como ela se posiciona frente aos aspectos socioambientais por ela identificados. Portanto, os indicadores devem refletir a política ambiental da empresa e seus objetivos, sem deixarem de estar em consonância com aspectos legais pertinentes ao seu ramo de atividade (ABNT, 2015). Sendo assim, na concepção desses indicadores, pode-se segmentá-los em três níveis, conforme elencado no Quadro 2.

Quadro 2 - Tipos de indicadores ambientais.

Categoria	Finalidade
Indicador de Desempenho Gerencial (IDG)	Monitoramento de práticas de gestão que influenciem no desempenho ambiental de uma organização.
Indicador de Desempenho Operacional (IDO)	Fornecimento de informações acerca do desempenho operacional de uma organização.
Indicador de Condições Ambientais (ICA)	Monitoramento do ambiente impactado pelas atividades exercidas por uma organização.

Fonte: Adaptado de ABNT (2015).

Conforme apresentado no Quadro 2, a criação dos indicadores dependerá prioritariamente da atividade exercida pela organização e de seus impactos socioambientais decorrentes. Esse fato, por sua vez, está intrinsecamente ligado ao licenciamento ambiental do empreendimento e o que preconiza seu Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Plano Básico Ambiental (PBA), quando se trata do âmbito nacional. Internacionalmente, embora haja também vasto regramento semelhante ao processo de licenciamento, a ADA é integrada ao planejamento estratégico das organizações e é incentivada por meio de iniciativas vindas de entidades representativas, em troca de reconhecimento pelas boas práticas adotadas e concessão de benefícios. No caso do setor portuário, a *European Sea Ports Organisation* (ESPO) e o *World Ports Sustainability Program* (WPSP) são organizações fundadas com esta finalidade, e que buscam fomentar a inserção de problemáticas ambientais no dia a dia das operações portuárias através do acompanhamento sistemático de indicadores ambientais e troca de informações e conhecimentos entre os portos participantes (ESPO, 2021).

No contexto europeu, Puig, Wooldridge e Darbra (2014) conduziram estudos para identificação dos principais aspectos ambientais e indicadores identificados por gestores portuários. Dos 304 indicadores inicialmente levantados após a aplicação de uma série de questionários e ponderações quanto a aplicabilidade de disponibilidade de dados, 12 foram elencados como os mais importantes, sendo eles (PUIG; WOOLDRIDGE; DARBRA, 2014): Sistema de Gestão Ambiental (SGA), programa de monitoramento ambiental, inventário de impactos ambientais, política ambiental, objetivos e metas ambientais, treinamentos na área

de meio ambiente, relatório de atividades ambientais, pegada de carbono, gerenciamento de resíduos sólidos e consumo de água. Nessa mesma linha de pesquisa, Puig *et al.* (2015) e Puig *et al.* (2017) desenvolveram ferramentas para avaliação de aspectos ambientais em portos e criação de indicadores ambientais baseadas em comparação matricial e correlação, a partir da aplicação de questionários (PUIG *et al.*, 2015, 2017). Já Kolios, Stylios e Petunin (2015), desenvolveram plataforma de acompanhamento de aspectos ambientais baseada em geoprocessamento para apresentação espacial de dados coletados em campo, tornando-os acessíveis a toda a comunidade portuária.

2.2.2 ADA no setor portuário brasileiro

Uma gestão ambiental eficaz pode auxiliar os gestores portuários no controle e monitoramento, prevenção e avaliação dos impactos causados ao meio ambiente e entorno das instalações (FIGUEIREDO; VALOIS; MARINHO, 2016). Segundo Puig *et al.* (2015), cada instalação portuária apresenta diferentes aspectos ambientais dependendo das atividades realizadas e, conseqüentemente, os gestores portuários devem identificar os aspectos com potencial de impacto, para alocação de recursos, esforços e tempo (PUIG *et al.*, 2015).

Analisando-se a realidade encontrada no sistema portuário brasileiro, percebe-se que as práticas ambientais no meio portuário nacional são adotadas através de legislação específica e se encontram em fase de consolidação (ROOS; KLIEMANN NETO, 2017). De acordo com Merola (2017), quando analisando-se o Índice de Desempenho Ambiental entre os anos de 2012 e 2015 dos portos nacionais, constata-se que a gestão portuária não progrediu significativamente, apesar da execução de ações ambientais promovidas por gestores portuários (MEROLA, 2017). Essa estagnação na evolução da gestão ambiental portuária está ligada à falta de recursos e de quadro técnico específico, ausência de indicadores, erros na implantação de ferramentas e falta de melhorias pelas análises de indicadores (VALOIS, 2009).

No Brasil, o principal sistema de indicadores para portos é o Índice de Desempenho Ambiental (IDA) proposto pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) (ROOS; KLIEMANN NETO, 2017). O IDA foi instituído através da resolução nº 2.650 de 2012 da ANTAQ (ANTAQ, 2012) e possui como objetivos servir como ferramenta de fiscalização e regulação, medir o grau de atendimento a conformidades ambientais, permitir a comparação entre

diferentes gestões portuárias e etapas de licenciamento (SILVA; FERREIRA, 2020) e simplificar informações de forma a facilitar o entendimento do público (ANTAQ, 2021).

O IDA utiliza método de análise multicritério, conhecido como *Analytic Hierarchy Process* (AHP), e se estrutura em quatro categorias principais: (i) econômico-operacional, com 24 indicadores; (ii) sociológico-cultural, com três indicadores; (iii) físico-químico, com oito indicadores; e (iv) biológico-ecológico, com três indicadores (ANTAQ, 2021). Para determinar os indicadores, a ANTAQ realizou consultas à literatura técnica especializada, às leis ambientais relacionadas e aos modelos já implementados no setor portuário mundial. Cada indicador então foi ponderado de acordo com seu grau de importância, assim como cada categoria (ANTAQ, 2021). A atribuição de notas para os indicadores é realizada com base em questionários qualitativos que avaliam os critérios de conformidade associados a cada indicador (ROOS; KLIEMANN NETO, 2017), ao fim, obtém-se um índice que varia de 0-100 (FIGUEIREDO; VALOIS; MARINHO, 2016).

Outra iniciativa nesse sentido foi o Plano Nacional de Logística Portuária (PNLP), descontinuado em 2019. Referente ao PNL, este estruturou-se com uma ampla gama de indicadores de desempenho, que representavam o sistema portuário como um todo, proporcionando uma visão geral do sistema portuário brasileiro (ROOS; KLIEMANN NETO, 2017). As principais categorias no PNL eram, i) gestão e economia, com 12 indicadores vinculados a três objetivos estratégicos; ii) operações, com sete indicadores vinculados a cinco objetivos estratégicos; iii) logística, com cinco indicadores vinculados a três objetivos estratégicos; iv) capacidade, com seis indicadores vinculados a quatro objetivos estratégicos e v) meio ambiente, com três indicadores vinculados a três objetivos estratégicos (BRASIL, 2015).

3 BUSINESS INTELLIGENCE (BI)

Um modo tradicionalmente empregado para agregar valor a partir de dados gerados é o *Business Intelligence* (BI) (BORDELEAU; MOSCONI; SANTA-EULALIA, 2020). Devido ao grande volume de dados gerados, o BI torna-se um processo promissor de ser empregado na indústria 4.0, pois é capaz de transformar volumosas quantidades de dados não estruturados, em informações interativas e, posteriormente, em conhecimento (JAIN; SHARMA, 2018). Esse

intenso processo de transformação auxilia os tomadores de decisão das organizações através de análise das informações e conhecimento gerados (BORDELEAU; MOSCONI; SANTA-EULALIA, 2020). O termo BI ficou popular a partir da década de 90 e desde então se tornou uma abordagem utilizada por diversas áreas, como mostra o Quadro 3.

Quadro 3 - Aplicações de BI em diferentes áreas.

Áreas	Aplicações
E-comércio e inteligência de mercado	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas de recomendação. - Monitoramento e análise das mídias sociais. - <i>Games</i> sociais e virtuais. -Sistemas de <i>crowdsourcing</i>.
Governo e política	<ul style="list-style-type: none"> - Serviços governamentais onipresentes. - Acesso igualitário a serviços públicos. - Engajamento e participação do cidadão - Campanha política.
Ciência e tecnologia	<ul style="list-style-type: none"> - Inovação. - Teste de hipóteses. - Descoberta de conhecimento.
Saúde e bem-estar	<ul style="list-style-type: none"> - Genômica de plantas e seres humanos. - Suporte às decisões de assistência médica. - Análise comunitária de pacientes.
Segurança	<ul style="list-style-type: none"> - Análise de crimes. - Criminologia computacional . - Informática de terrorismo. - Inteligência de código aberto. - <i>Cyber</i> segurança.

Fonte: Adaptado de Chen, Chiang e Storey (2012).

Referente a aplicações em transporte e logística, Reddy, Sangam e Rao (2018) analisaram diferentes tipos de ferramentas BI, elencando os principais pontos positivos e deficiências de cada uma para os serviços de transporte, marketing e finanças (REDDY; SANGAM; RAO, 2018). Neste mesmo sentido, mas com propósitos mais específicos, Václav *et al.* (2021) avaliou a aplicação do BI no controle de cargas intermodal (VÁCLAV *et al.*, 2021). Já Balint e Toma (2015), focaram seu estudo em analisar a influência e o ganho de agilidade nas redes de transporte ao se adotar soluções voltadas para o BI (BALINT; TOMA, 2015).

Uma das ferramentas mais utilizadas de BI é o Microsoft Power BI. Com ela, é possível gerar *dashboards* e relatórios interativos através da unificação de dados de diferentes fontes. Além de prestar auxílio na tomada de decisões o Power BI, aprimora o compartilhamento e comunicação entre membros de uma organização e seus clientes (JAIN; SHARMA, 2018).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 PESQUISA SISTEMÁTICA

A pesquisa sistemática consistiu na busca por referencial teórico que desse suporte às premissas adotadas na concepção da proposta de *layout*, sendo categorizada em quatro eixos principais e suas bases de dados correspondentes, resumidos no Quadro 4. Cada eixo possui bases de dados específicas, as quais foram consultadas e suas informações aplicadas em diversas fases da proposta.

Quadro 4 - Bases de dados consultadas e metodologia de pesquisa

Eixo	Bases de dados	Metodologia
Artigos acadêmicos	<ul style="list-style-type: none"> - Scopus. - ScienceDirect. - Taylor and Francis. - Wiley. - Scielo. 	Busca de artigos que trabalhem o conceito de Porto 4.0 e indicadores ambientais no setor portuário por meio de palavras-chave e utilização de operadores booleanos de pesquisa.
Marcos regulatórios/ Normas Técnicas	<ul style="list-style-type: none"> - International Maritime Organization (IMO). - Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ). - Ministério da Infraestrutura. - Ministério da Saúde. - Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). - Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 	Busca por normas, normativas, resoluções e portarias relacionadas aos impactos ambientais causados pela atividade portuária.
Diretrizes de planejamento	<ul style="list-style-type: none"> - Ministério da Infraestrutura. 	Busca por documentos técnicos orientadores da política de transportes do Governo Federal que tenham o meio ambiente como um de seus fatores de análise.

Legislação ambiental	<ul style="list-style-type: none"> - Ministério do Meio Ambiente (MMA). - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). - Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMbio). 	Busca por normas, normativas, resoluções e portarias relacionadas aos impactos ambientais causados pela atividade portuária.
----------------------	--	--

Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Além de darem suporte teórico à formulação do layout, aquelas referências que trazem parâmetros e indicadores foram incorporadas e sinalizadas como potenciais verificadores de conformidade ambiental e de acompanhamento de condicionantes ambientais comumente vistas em licenças ambientais de instalações portuárias.

4.2 MAPEAMENTO E MODELAGEM DE PROCESSOS

De modo a obter uma proposta de *layout* final, além do referencial teórico, torna-se necessário aplicar as ferramentas gerenciais de mapeamento e modelagem de processos. Segundo Capote (2011), o mapeamento de processos consiste no levantamento de informações acerca do processo, seus recursos e suas regras, com objetivo principal de melhorar processos previamente existentes ou de implementar uma nova estrutura (VILELLA, 2000). Já a modelagem de processos diz respeito à representação propriamente dita dos processos, numa maneira de complementar a técnica de mapeamento (VILLELA, 2000).

Para a proposição do *layout* final optou-se por uma linguagem de modelagem que represente adequadamente os processos e seus respectivos fluxos, de modo a facilitar o entendimento e a visualização da sequência de procedimentos e a maneira como se encaixam (CUNHA, 2012). Portanto, utilizou-se o *Business Process Model and Notation* (BPMN) devido a fatores como, fácil leitura e ser prático e intuitivo. O *software* escolhido para elaboração do *layout* foi o *Bizagi Modeler*, o qual utiliza a notação do BPMN e possibilita criar e documentar processos de negócio, visando melhorar a compreensão de cada passo, identificar oportunidades de melhoria e aumentar a eficiência organizacional (BIZAGI, 2021).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

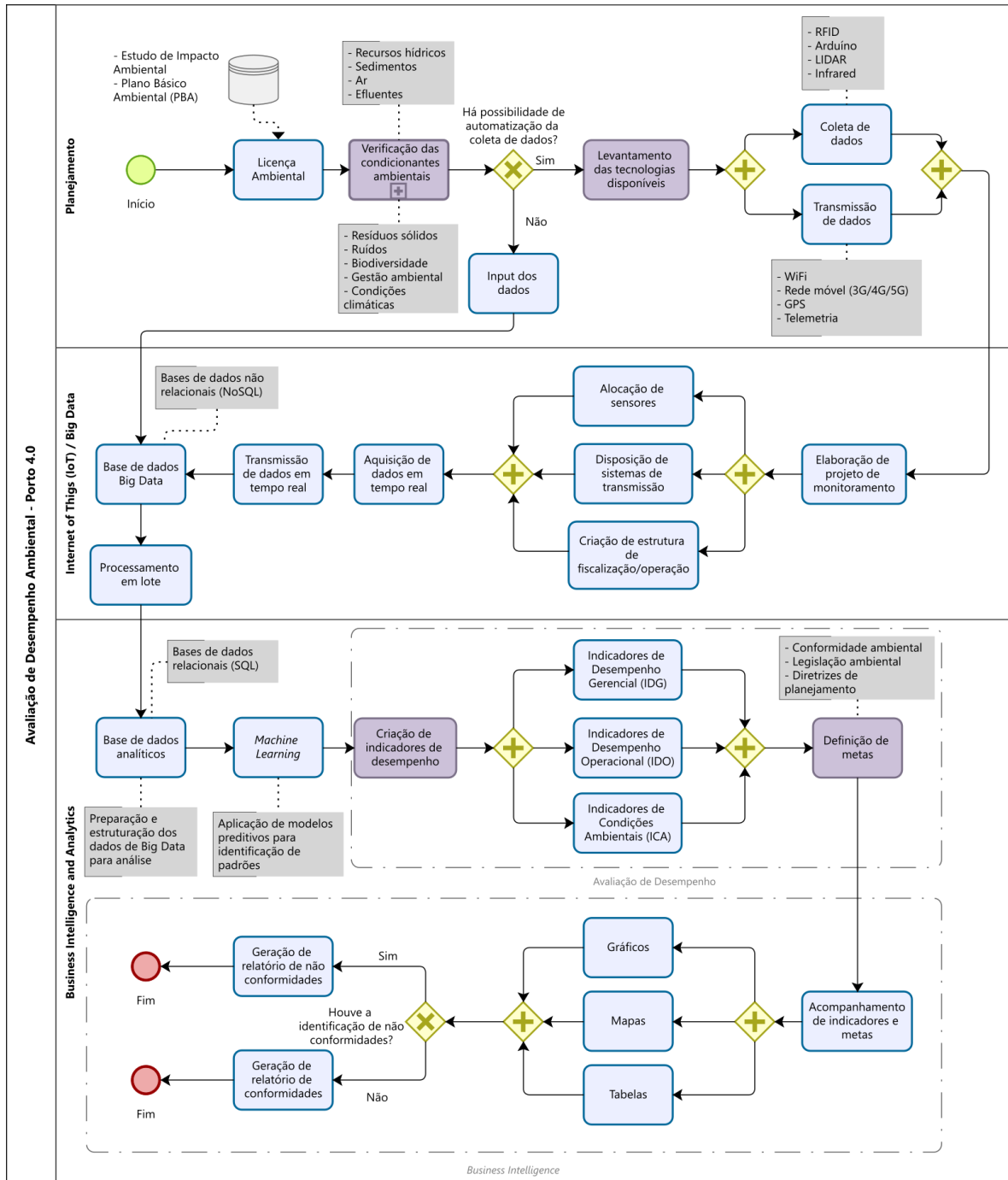
Por tratar-se de uma atividade que é considerada efetiva ou potencialmente poluidora (CONAMA, 1997), os terminais portuários estão sujeitos ao licenciamento ambiental. Através deste procedimento, são estabelecidas as condicionantes a serem atendidas pelas autoridades e instalações portuárias com objetivo de minimizar e evitar impactos ao meio ambiente. As condicionantes variam dependendo das características de cada porto, como seu tamanho, localização, atividades desenvolvidas na área portuária e o tipo da costa (DARBRA *et al.*, 2005). Contudo, de modo geral, podem ser elencadas condicionantes tipicamente relacionadas à atividade portuária (PUIG *et al.*, 2014, 2017; DARBRA *et al.*, 2005, 2009).

A partir desse conhecimento, pode-se construir uma proposta de implementação da ADA integrada aos conceitos de Porto 4.0 que tenha a licença ambiental como principal ponto de partida, conforme será discutido nas subseções posteriores. Essa premissa por si só já permite o controle mais efetivo do cumprimento de condicionantes ambientais por parte dos gestores portuários e, conseqüentemente, permite o acompanhamento de outros aspectos ambientais que não estejam intimamente ligados a elas, mas que são importantes do ponto de vista regulatório.

5.1 PROPOSTA DE LAYOUT

O layout proposto para a implementação da ADA integrada ao Porto 4.0 é apresentado na Figura 4. A proposta é segmentada em três fluxos principais que se sucedem: Planejamento, IoT/Big Data e *Business Intelligence and Analytics*. Destacam-se em roxo os processos considerados chave.

Figura 4 - Layout para implementação da ADA no Porto 4.0.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

No Planejamento tem-se a avaliação da licença ambiental e das condicionantes nela contidas para determinação dos aspectos ambientais a serem medidos e controlados já que, dependendo do aspecto, as tecnologias de medição e transmissão de dados disponíveis podem variar de maneira significativa e influenciar na implementação do Porto 4.0 em sua integralidade. Nesse sentido, após essa avaliação, o fluxograma se divide entre a possibilidade

de automatização ou não dos dados e, em caso positivo, procede-se ao levantamento das tecnologias disponíveis para aplicação. Já em caso negativo, o processo conecta-se diretamente ao próximo fluxo, por conta da necessidade de *input* direto de dados nas bases de dados ambientais a serem criadas. Tal situação pode ocorrer na avaliação dos aspectos ambientais que ainda dependem exclusivamente de coleta presencial de dados e observação.

No fluxo seguinte tem-se as etapas principais para construção de uma base de dados ambientais em *IoT/Big Data*. Dentro da avaliação dos aspectos ambientais passíveis de automação da coleta e transmissão de dados tem-se a escolha das tecnologias disponíveis, conforme já descrito anteriormente, as quais deverão ser alocadas em termo de localização espacial e de criação de estrutura de fiscalização e controle. Definida a estrutura necessária, prossegue-se à aquisição e transmissão de dados em tempo real, a qual resultará num banco de dados, geralmente não relacional, para armazenamento de grandes volumes de dados brutos e posterior processamento (SCIENCESOFT, 2021). Desse processamento, por sua vez, resultarão as bases de dados analíticas que servirão de partida para a criação da terceira e última etapa do *layout* (SCIENCESOFT, 2021).

A etapa final do *layout* trata-se da concepção da ADA aplicável à realidade em estudo no formato de *Business Intelligence*. Num primeiro momento tem-se a base de dados tratada proveniente do fluxo anterior na qual podem ser aplicados modelos e algoritmos preditivos para identificação de padrões (SCIENCESOFT, 2021).

A partir desse tratamento prévio de dados, criam-se indicadores de desempenho em suas três interfaces (gerenciais, operacionais e ambientais), os quais deverão ser confrontados com metas previamente definidas pelos gestores portuários da instalação portuária para a garantia da conformidade ambiental, atendimento à legislação ambiental e adequação às diretrizes de planejamento do setor.

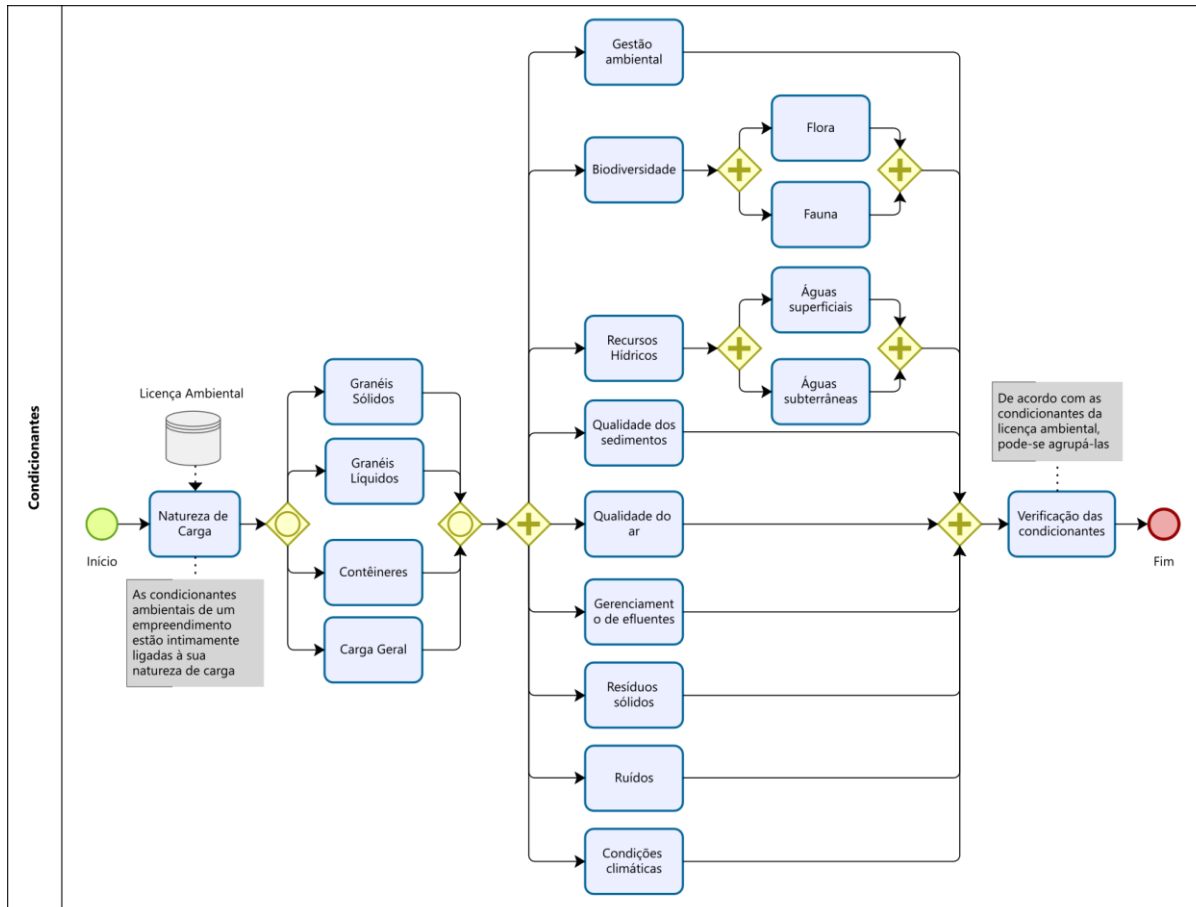
Após a definição dos indicadores e metas, deve ser criada uma estrutura de acompanhamento dos mesmos em tempo real, pautada em informações dispostas em interfaces interativas que permitam ao gestor gerar relatórios de conformidades e inconformidades, seja para uso interno ou para apresentação aos órgãos ambientais/regulatórios.

Vale destacar, no entanto, que, embora a maior parte dos processos elencados no *layout* se repitam para diferentes tipologias de empreendimentos portuários, alguns deles merecem maior atenção por serem considerados chave, a saber: verificação das condicionantes ambientais, levantamento das tecnologias disponíveis, criação de indicadores de desempenho e definição de metas.

5.1.1 Verificação das condicionantes ambientais

A verificação de condicionantes é considerada chave, já que é do licenciamento ambiental que costumam partir as iniciativas de garantia da conformidade ambiental por parte dos gestores de empreendimentos portuários. Diante do rito processual do licenciamento ambiental empregado no Brasil não há uma padronização das licenças e condicionantes ambientais (FONSECA; SÁNCHEZ; RIBEIRO, 2017). No entanto, dependendo das características do empreendimento, pode-se inferir os aspectos ambientais esperados baseados nos possíveis impactos causados pelo e em licenças expedidas para empreendimentos portuários em território nacional (BRASIL, 2019). Sendo assim, a análise de condicionantes deverá considerar prioritariamente o tipo de natureza de carga do empreendimento para que assim a proposta de *layout* se adéque à realidade do empreendimento, segundo mostra a Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma de análise de condicionantes.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Das naturezas de carga consideradas pode-se destacar: granéis sólidos, granéis líquidos, contêineres e carga geral. Granéis sólidos, contêineres e carga geral, por exemplo, tendem a possuir maior ênfase em determinados aspectos ambientais do que granéis líquidos, por conta das diferenças entre os próprios produtos movimentados e características de operação. Isso se dá porque a movimentação de produtos em estado sólido geralmente acompanha aspectos ambientais e impactos relacionados à qualidade do ar, resíduos sólidos e efluentes, enquanto produtos no estado líquido (nos quais incluem-se os químicos, combustíveis, entre outros) gerarão maiores preocupações com eventos de poluição em corpos hídricos, sedimentos e águas subterrâneas.

Acompanhada da natureza de carga deve vir o estudo da tipologia do empreendimento. Instalações portuárias com maior presença de infraestrutura em terra possuirão diferenças significativas em aspectos e impactos ambientais daquelas que possuem

infraestrutura *offshore*, por exemplo. Todas essas características devem ser contabilizadas pelo gestor portuário para a definição de escopo de implementação da ADA no contexto de Porto 4.0 e, conseqüentemente, do levantamento das tecnologias disponíveis para sua plena ou parcial implementação já que o acompanhamento automatizado dos aspectos e impactos atualmente é restrito a determinados levantamentos ambientais (ZARZUELO; SOEANE; BERMÚDEZ, 2020).

5.1.2 Levantamento das tecnologias disponíveis

Conforme já comentado, os tipos de aspectos e impactos ambientais a serem medidos e acompanhados indicarão quais tecnologias estão disponíveis no mercado para a aferição de parâmetros pertinentes a cada um e, conseqüentemente, quais delas implicarão na possibilidade de registro de dados automáticos em tempo real ou não. O Quadro 5 apresenta aspectos ambientais e suas possibilidades de automatização.

Quadro 5 - Aspectos ambientais e possibilidades de automatização para aquisição de dados

Aspecto ambiental	Características	Automatização
Recursos hídricos Qualidade dos sedimentos Gerenciamento de efluentes	Pautada principalmente em coleta de dados e amostras presenciais. Dados físico-químicos são coletados por sondas e/ou sensores que podem ter a transmissão de dados automatizada.	Parcial
Qualidade do ar	Aplicação de sensores de campo em estações de medição de qualidade do ar com transmissão automática de dados.	Total
Resíduos sólidos	Possibilidade de aplicação de sensores para pesagem e registro de quantitativos de resíduos.	Parcial

Aspecto ambiental	Características	Automatização
Ruídos	Pautada principalmente em coleta de dados e amostras presenciais. Há possibilidade de automatização da coleta de dados.	Total ou Parcial
Condições climáticas	Alguns parâmetros de avaliação de condições climáticas podem ser coletados de forma automatizada e em tempo real, como: maregrafia, ondas, ventos, turbidez da água, clorofila.	Parcial
Biodiversidade	Pautada principalmente em coleta de dados e amostras presenciais. Há possibilidade de automatização da coleta de dados.	Parcial
Gestão ambiental	Automatização de processos gerenciais cotidianos em saúde, segurança e meio ambiente, como: controle de acidentes, auditorias, planejamento estratégico.	Total ou Parcial

Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

5.1.3 Criação de indicadores de desempenho

Assim como as condicionantes podem variar dependendo das características do empreendimento portuário, o mesmo observa-se para os indicadores de desempenho. Portanto, a seleção de indicadores de desempenho é uma etapa relevante no que diz respeito à avaliação da gestão portuária. Percebe-se, no entanto, que não há metodologia padrão estabelecida para criação de indicadores no Brasil. Situação parecida é observada em portos que fazem parte da União Europeia (UE) (PUIG *et al.*, 2017).

Referente aos indicadores de desempenho ambiental, gerencial e operacional, estes podem estar pautados na licença ambiental e suas respectivas condicionantes pois trata-se de um processo administrativo capaz de identificar aspectos de significativo impacto, sob o ponto de vista do meio biótico, físico e antrópico, ao mesmo tempo em que considera as particularidades do empreendimento. Observa-se que no geral, o setor portuário possui aspectos ambientais e indicadores de desempenho similares, podendo-se agrupar estes aspectos, conforme Quadro 6.

Quadro 6 - Principais indicadores de desempenho identificados para o setor portuário em geral

Indicador de desempenho	Aspecto ambiental	Relação de indicadores
Indicador Gerencial	Gestão ambiental	Quantidade e qualificação de trabalhadores no setor; orçamento disponível; política ambiental; Sistema de Gestão Ambiental (SGA); licenciamento; auditoria ambiental; planejamento e resposta a emergências; treinamento e conscientização ambiental.
Indicador Operacional	Condições climáticas	Monitoramento das condições climáticas; monitoramento dos parâmetros meteoceanográficos;
Indicador Ambiental	Recursos hídricos	Redução e reuso da água; monitoramento da qualidade da água; consumo de água no porto; monitoramento água de lastro.
	Qualidade dos sedimentos	Monitoramento do solo e do material dragado; disposição do material; passivos ambientais; volume dragado.
	Qualidade do ar	Emissão Gases de Efeito Estufa (GEE); monitoramento da qualidade do ar na área portuária e no entorno.
	Gerenciamento de efluentes	Reuso do efluente tratado; monitoramento do efluente; disposição; volume gerado; prevenção controle e combate de incidentes com óleo ou outras substâncias nocivas/perigosas.
	Resíduos sólidos	Quantidade total de resíduos gerados; quantidade de resíduo reciclável gerado; quantidade de resíduos perigosos gerados; disposição; redução da geração; resíduo de embarcação; possuir Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS).

Indicador de desempenho	Aspecto ambiental	Relação de indicadores
	Ruídos	Monitoramento de ruídos.
	Biodiversidade	Monitoramento da fauna e flora; espécies aquáticas exóticas; monitoramento de fauna nociva à saúde pública.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Ao IDG vinculou-se a gestão ambiental, visto que através deste aspecto pode-se definir procedimentos gerenciais visando obter o melhor controle sobre os impactos ambientais da organização. Para o IDO, adotou-se o aspecto de condições climáticas já que interferências como a de vento, chuva e maré afetam as atividades operacionais portuárias. Referente ao ICA, adotaram-se os aspectos ambientais comumente impactados pelas instalações portuárias, como já mencionado, recursos hídricos, sedimentos, ar, efluentes, resíduos sólidos, ruídos e biodiversidade.

Através da visão geral dos indicadores de desempenho, é possível aplicar métodos de ponderação, com o objetivo de medir fatores de maior relevância de acordo com a natureza do empreendimento portuário. Sendo assim, os constructos e seus indicadores de mensuração poderão ser adequados à tipologia específica da instalação portuária.

5.1.4 Definição de metas

De modo a buscar uma melhoria contínua no desempenho ambiental são estabelecidas metas, que juntamente com os indicadores, são capazes de identificar pontos problemáticos da gestão e assim, aperfeiçoá-los. Durante o estabelecimento das metas, pode-se buscar respaldo legal com a determinação de metas pautadas na legislação ambiental aplicável a cada aspecto avaliado pelos indicadores de desempenho. Para tanto, procurou-se realizar levantamento das principais legislações vigentes em relação a cada aspecto ambiental analisado, podendo assim, embasar a definição das metas. O levantamento das legislações e respectivas metas constam no Quadro 7.

Quadro 7 - Relação de metas e legislações ambientais aplicáveis a cada aspecto ambiental proposto.

Aspecto ambiental	Legislação Ambiental	Relação de metas
Recursos hídricos	CONAMA nº 357/2005; CONAMA nº 396/2008; Portaria MS nº 888 de 2021; Lei nº 9.433 de 2011; Resolução RDC nº 72/2009; NORMAN 20/DPC - revisão 2 - 2019; IMO A.868(20)/1997.	Melhorar a qualidade da água do entorno portuário; propor e implementar sistema de aproveitamento de água da chuva; reduzir consumo de água na instalação; manter controle e gerenciamento da água de lastro;
Qualidade dos sedimentos	CONAMA nº 454/2012	Adequar disposição do material dragado; melhorar a qualidade do sedimento.
Qualidade do ar	CONAMA nº 491/2018; Lei nº 12.187/2009.	Metas de redução na emissão de: material particulado, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, ozônio e/ou monóxido de carbono; redução na emissão de GEE.
Gerenciamento de efluentes	CONAMA nº 430/2011; Lei nº 9.966 de 2000; CONAMA nº 398/2008.	Melhorar a qualidade do efluente tratado; propor e implementar sistema para aproveitamento do efluente tratado; reduzir o volume de efluente gerado; realização de treinamentos/capacitações periódicas.
Resíduos sólidos	Lei nº 12.305 de 2010; Resolução ANTAQ nº 4.828 e nº 4.865 de 2016; Lei nº 9.966 de 2000; CONAMA nº 05/1993; Resolução RDC nº 56/2008; Resolução RDC nº 72/2009; NBR 10.004/2004; MARPOL 73/78 - Anexo V.	Elaboração de PGRS; metas de redução na geração de: resíduos perigosos e/ou rejeitos; implementar coleta seletiva; realizar capacitações para os trabalhadores; oferecer recebimento e tratamento dos resíduos de embarcação; adequar a destinação final dos resíduos.
Ruídos	CONAMA nº 01/1990; NBR 10.151; NBR 10.152.	Reduzir geração de ruídos como: confinar fontes de ruídos, substituir equipamentos causadores de poluição sonora, alterar o posicionamento dos equipamentos que geram ruídos ou evitar elevada concentração de equipamentos operando ao mesmo tempo; garantir acesso a equipamento de proteção individual aos trabalhadores, como protetores auditivos;
Biodiversidade	Lei nº 9.605/1998;	Propor medidas preventivas para

Aspecto ambiental	Legislação Ambiental	Relação de metas
	Lei nº 7.661/1988; Lei nº 6.938/1981; Decreto nº 4.339/2002; Decreto nº 2.519/1998; Instrução Normativa do IBAMA nº 141/2006.	controle de espécies exóticas, como as advindas de água de lastro; combater a fauna sinantrópica.
Gestão ambiental	NBR ISO 14031:2015; NBR ISO 14001:2015; Lei 6.938/1981; CONAMA nº 237/1997; CONAMA nº 306/2002; Portaria SEP nº 104/2009.	Obtenção da licença ambiental; implementar SGA; realizar auditoria ambiental; expandir capital de investimento na área; treinamentos para capacitação dos trabalhadores.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

6 CONCLUSÕES

Diante do exposto, nota-se que a inserção da temática socioambiental no contexto do Porto 4.0 ainda é incipiente e restrita a portos e instalações portuárias que já possuem sistemas consolidados de acompanhamento das operações portuárias. Além disso, há uma limitação tecnológica, já que nem toda a medição de aspectos ambientais associados à atividade portuária é passível de automação e transmissão de dados em tempo real. Mesmo assim, iniciativas de integração de dados ambientais aos sistemas de gestão dos portos têm surgido nos últimos anos e há potencial no mercado para dar início a esse processo de automação. Para que esse potencial possa ser explorado ao longo dos próximos anos, tem-se alguns desafios:

- a) adequação por parte da agência reguladora portuária e dos órgãos licenciadores para receberem informações mais precisas e em tempo real provenientes de tecnologias de controle e monitoramento ambiental;
- b) reestruturação da base de dados do IDA ANTAQ para recebimento de dados em tempo real e não somente àqueles provenientes de questionários encaminhados por autoridades portuárias e instalações privadas;
- c) proposição de regulamentação que permita a melhoria dos indicadores de desempenho, criando-se metas e níveis satisfatórios de desempenho ambiental;

- d) evolução de práticas que estimulem os investimentos em tecnologias sustentáveis, com regimentos e benefícios estimulados por parte do estado;
- e) adequação por parte dos órgãos licenciadores ambientais, com a criação e estruturação de bancos de dados integrados entre órgãos federais, estaduais e municipais;
- f) ressignificação do papel da Autoridade Portuária como a responsável por viabilizar investimentos em tecnologia, permitindo assim que os terminais do complexo portuário usem desses recursos de forma a não onerar todo o sistema. Evita-se assim que vários terminais realizem os mesmos investimentos e análises ambientais otimizando os recursos e conseqüentemente trazendo ganhos de redução de custos em programas ambientais;
- g) criação de plataformas de divulgação de dados, integrada e padronizada, para que a sociedade possa avaliar o desempenho ambiental dos portos de forma clara.

Por fim destaca-se, além do papel das próprias instalações portuárias e Autoridades Portuárias, a necessidade de atuação dos agentes públicos, como a própria ANTAQ e SNPTA, nesse processo de evolução da gestão ambiental portuária frente a um setor portuário cada vez mais dinâmico e integrado.

REFERÊNCIAS

- ACCIARO, M.; RENKEN, K.; EL KHADIRI, N. Technological change and logistics development in european ports. *In*: CARPENTER, Angela; LOZANO, Rodrigo (ed.). **European Port Cities in Transition**. Switzerland: Springer, 2020. *E-book*. p. 73-88. DOI: 10.1007/978-3-030-36464-9_5
- ACETO, G.; PERSICO, V.; PESCAPÉ, A. Industry 4.0 and Health: internet of things, big data, and cloud computing for healthcare 4.0. **Journal of Industrial Information Integration**, [s. l.], v. 18, p. 100129, jun. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jii.2020.100129>.
- ARUNACHALAM, D.; KUMAR, N.; KAWALEK, J. P. Understanding big data analytics capabilities in supply chain management: unravelling the issues, challenges and implications for practice. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, [s. l.], v. 114, p. 416-436, jun. 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2017.04.001>.
- ABNT. **ABNT ISO 14031**: gestão ambiental - avaliação de desempenho ambiental - diretrizes. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ANTAQ. **Índice de Desempenho Ambiental (IDA)**. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <http://portal.antaq.gov.br/index.php/meio-ambiente/indice-de-desempenho-ambiental/>. Acesso em: 06 jul. 2021.

ANTAQ. Resolução nº 2.650 de 26 de setembro de 2012. Aprova os instrumentos de acompanhamento e controle de gestão ambiental em instalações portuárias. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 188, p. 98, 27 set. 2012. Disponível em: http://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/legislacao/21._Res.ANTAQ_2650_2012.pdf. Acesso em: 06 jul. 2021.

BALINT, A. O.; TOMA, M. How does business intelligence solutions can streamline and influence transport networks?. **Procedia Economics and Finance**, v. 20, p. 59-64, 2015. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00047-7](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00047-7)

BIZAGI. **Bizagi Modeler**. Buckinghamshire, 2021. Disponível em: <https://www.bizagi.com/pt/plataforma/modeler>. Acesso em: 18 ago. 2021.

BORDELEAU, F.; MOSCONI, E.; DE SANTA-EULALIA, L. A. Business intelligence and analytics value creation in Industry 4.0: a multiple case study in manufacturing medium enterprises. **Production Planning & Control**, v. 31, n. 2-3, p. 173-185, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1631458>

CONAMA. **Resolução CONAMA nº 257 de 19 de dezembro de 1997**. Brasília, DF, Conama, 1997. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/CONAMA%20237_191297.pdf. Acesso em: 10 ago. 2021.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. **Plano Nacional de Logística Portuária (PNLP)**: Diagnóstico. Brasília, DF, 2019. Disponível em: <https://antigo.infraestrutura.gov.br/images/2020/03/2.09.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2021.

BRASIL. Secretaria dos Portos. **Plano Nacional de Logística Portuária (PNLP)**: Infográfico dos objetivos, indicadores, metas e ações estratégicas. LabTrans/UFSC. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/politica-e-planejamento/politica-e-planejamento/plano-nacional-de-logistica-portuaria-pnlp>. Acesso em: 06 jul. 2021.

CAPOTE, G. **Guia para formação de analistas de processos – BPM**. Rio de Janeiro: Gart Capote, 2011. v. 1.

CHEN, H.; CHIANG, R. H. L.; STOREY, V. C. Business intelligence and analytics: From big data to big impact. **MIS quarterly**, v. 36, n. 4, p. 1165-1188, Dec. 2012. DOI: <https://doi.org/10.2307/41703503>

CUNHA, A. U. **Mapeamento de processos organizacionais na UnB**: caso Centro de Documentação da UnB - CEDOC. 2012. 66 f., il. Monografia (Especialização em Gestão Universitária) — Universidade de Brasília, Brasília, 2012. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/4191>. Acesso em: 18 ago. 2021.

DARBRA, R. M. *et al.* A procedure for identifying significant environmental aspects in sea ports. **Marine pollution bulletin**, v. 50, n. 8, p. 866-874, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.04.037>

DARBRA, R. M. *et al.* Survey on environmental monitoring requirements of European ports. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 3, p. 1396-1403, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.08.010>.

DONG, X. *et al.* Intelligent ports based on Internet of Things. *In*: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SERVICE OPERATIONS AND LOGISTICS, AND INFORMATICS, 2013. **Proceedings** [...]. [United States]: IEEE, 2013. p. 292-296. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/soli.2013.6611428>.

ESPO. **About**. Brussels, 2021. Disponível em: <https://www.ecoport.com/about>. Acesso em: 16 jul. 2021.

FIGUEIREDO, E. J. A.; VALOIS, N. A. L.; MARINHO, M. M. O. Desafios e oportunidades dos indicadores de desempenho ambiental da Agência Nacional de Transportes Aquaviários para portos organizados marítimos: uma análise sob a percepção dos gestores ambientais portuários. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 4, n. 2, p. 155-168, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/14425>. Acesso em: 28 jun. 2021.

FONSECA, A.; SÁNCHEZ, L. E.; RIBEIRO, J. C. J. Reforming EIA systems: a critical review of proposals in Brazil. **Environmental Impact Assessment Review**, [s. l.], v. 62, p. 90-97, jan. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2016.10.002>.

GHOBAKHLOO, M. *et al.* Industry 4.0 ten years on: a bibliometric and systematic review of concepts, sustainability value drivers, and success determinants. **Journal Of Cleaner Production**, [s. l.], v. 302, p. 127052, jun. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127052>.

GOVINDAN, K. *et al.* Big data analytics and application for logistics and supply chain management. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, [s. l.], v. 114, p. 343-349, jun. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2018.03.011>.

GUBBI, J. *et al.* Internet of Things (IoT): a vision, architectural elements, and future directions. **Future Generation Computer Systems**, [s. l.], v. 29, n. 7, p. 1645-1660, set. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>.

JAIN, S.; SHARMA, S. Application of data warehouse in decision support and business intelligence system. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GREEN COMPUTING AND INTERNET OF THINGS (ICGCIOT)m*, 2., 2018. **Proceedings** [...]. [United States]: IEEE, 2018. p. 231-234. DOI: 10.1109/ICGCIOT.2018.8753082

KOLIOS, S.; STYLIOS, C.; PETUNIN, A. A WebGIS platform to monitor environmental conditions in ports and their surroundings in South Eastern Europe. **Environmental Monitoring And Assessment**, [s. l.], v. 187, n. 9, p. 1-16, 15 ago. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-015-4786-x>.

MEROLA, V. F. M. **Os portos na nova economia global**: uma proposta de gestão ambiental estratégica para a promoção da sustentabilidade e da saúde em cidades portuárias. 2017. Tese (Doutorado em Saúde Global e Sustentabilidade) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6140/tde-09022018-171955/en.php>. Acesso em: 12 jul. 2021.

MOLAVI, A.; LIM, G. J.; RACE, B. A framework for building a smart port and smart port index. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 14, n. 9, p. 686-700, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/15568318.2019.1610919>

MOROS-DAZA, A.; AMAYA-MIER, R.; PATERNINA-ARBOLEDA, C. Port Community Systems: A structured literature review. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 133, p. 27-46, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.12.021>

PAROLA, F. *et al.* Digital technologies and business opportunities for logistics centres in maritime supply chains. **Maritime Policy & Management**, v. 48, n. 4, p. 1-17, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/03088839.2020.1802784>

PORT OF ROTTERDAM. **Port of Rotterdam puts Internet of Things platform into operation**. Rotterdam, 2019. Disponível em: <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/port-rotterdam-puts-internet-things-platform-operation>. Acesso em: 16 jul. 2021.

PORT TECHNOLOGY. **Use of big data in the maritime industry**. [Dubai]: Telleborg, 2018. Disponível em: https://www.patersonsimons.com/wp-content/uploads/2018/06/TMS_SmartPort_InsightBee_Report-to-GUIDE_01.02.18.pdf. Acesso em: 09 jul. 2021.

PUIG, M. *et al.* Tool for the identification and implementation of Environmental Indicators in Ports (TEIP). **Ocean & Coastal Management**, [s. l.], v. 140, p. 34-45, maio 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.02.017>.

PUIG, M.; WOOLDRIDGE, C.; DARBRA, R. M. Identification and selection of environmental performance indicators for sustainable port development. **Marine Pollution Bulletin**, v. 81, n. 1, p. 124-130, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.02.006>

PUIG, M. *et al.* Tool for the identification and assessment of Environmental Aspects in Ports (TEAP). **Ocean & Coastal Management**, [s.l.], v. 113, p. 8-17, ago. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.05.007>.

REDDY, C. S.; SANGAM, R. S.; RAO, B. S. A survey on business intelligence tools for marketing, financial, and transportation services. *In*: SATAPATHY, Suresh Chandra; BHATEJA, Vikrant; DAS, Swagatam. **Smart intelligent computing and applications**. Singapore: Springer, 2019. *E-book*. p. 495-504. DOI: 10.1007/978-981-13-1927-3_53

REY, A. *et al.* Determinants in adopting the Internet of Things in the transport and logistics industry. **Journal Of Business Research**, [s. l.], v. 131, p. 584-590, jul. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.12.049>.

ROOS, E. C.; KLIEMANN NETO, F. J. K. Tools for evaluating environmental performance at Brazilian public ports: Analysis and proposal. **Marine pollution bulletin**, v. 115, n. 1-2, p. 211-216, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.12.015>

RÜBMANN, M. *et al.* **Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing industries**. [S. l.]: Boston Consulting Group (Bcg), 2015. Disponível em: https://image-src.bcg.com/Images/Industry_40_Future_of_Productivity_April_2015_tcm9-61694.pdf. Acesso em: 21 jun. 2021.

SCIENCESOFT. **5 Best Big Data Databases**. McKinney, 2021. Disponível em: <https://www.scnsoft.com/analytics/big-data/databases>. Acesso em: 26 ago. 2021.

SILVA, L. C. S.; FERREIRA, D. H. L. Índice de desempenho ambiental (IDA): avaliação do desempenho ambiental dos portos brasileiros. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, v. 7, n. 3, p. 80-94, 2020. Disponível em: <https://periodicos.itp.ifsp.edu.br/index.php/IC/article/view/1603>. Acesso em 28 jun. 2021.

TIJAN, E. *et al.* Digital transformation in the maritime transport sector. **Technological Forecasting And Social Change**, [s. l.], v. 170, p. 120879, set. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120879>.

TRIVELLI, L. *et al.* From precision agriculture to Industry 4.0. **British Food Journal**, [s. l.], v. 121, n. 8, p. 1730-1743, 5 ago. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/bfj-11-2018-0747>.

VÁCLAV, C. *et al.* Utilization of Business Intelligence Tools in Cargo Control. **Transportation Research Procedia**, v. 53, p. 212-223, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.028>

VALENCIAPORT. **The Port of València installs two new environmental quality and control cabins**. Valencia, 2021. Disponível em: <https://www.valenciaport.com/en/the-port-of-valencia-installs-two-new-environmental-quality-and-control-cabins/>. Acesso em: 16 jul. 2021.

VALOIS, N. A. L. **Proposição do uso de indicadores ambientais na avaliação de desempenho de portos brasileiros**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/handle/123456789/5369>. Acesso em: 06 jul. 2021.

VILLELA, C. S. S. **Mapeamento de processos como ferramenta de reestruturação e aprendizado organizacional**. 2000. 182 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/78638>. Acesso em: 18 ago. 2021.

WANG, Y.; SARKIS, J. Emerging digitalisation technologies in freight transport and logistics: current trends and future directions. **Transportation Research Part e: Logistics and Transportation Review**, [s. l.], v. 148, p. 102291, abr. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2021.102291>

XU, Li da; XU, Eric L.; LI, Ling. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal Of Production Research**, [s. l.], v. 56, n. 8, p. 2941-2962, 9 mar. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>

YANG, Y *et al.* Internet of things for smart ports: technologies and challenges. **IEEE Instrumentation & Measurement Magazine**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 34-43, fev. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/mim.2018.8278808>

YAU, K. A. *et al.* Towards Smart Port Infrastructures: enhancing port activities using information and communications technology. **IEEE Access**, [s. l.], v. 8, p. 83387-83404, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/access.2020.2990961>.

ZARZUELO, I.; SOEANE, M. J. F.; BERMÚDEZ, B. L. Industry 4.0 in the port and maritime industry: a literature review. **Journal Of Industrial Information Integration**, [s. l.], v. 20, p. 100173, dez. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jii.2020.100173>.