

revista IPT

TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

26

v. 8, n. 26, ago., 2024



REDUÇÃO DA PEGADA DE CARBONO

Desenvolvimento de materiais de construção de base biológica

CONFORTO ACÚSTICO EM HABITAÇÕES

Sistema de contrapiso flutuante pode atenuar ruído do impacto de piso

PROGRAMA ATUAÇÃO RESPONSÁVEL

Resultados da adoção da ferramenta na indústria química

ipt
INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

ENSINO TECNOLÓGICO



revista **IPT**

TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

v.8, n.26, agosto, 2024

Quadrimestral

Editores-chefes

Eduardo Luiz Machado

Andreia Longuinho da Silva

José Maria de Camargo Barros

Conselho Editorial

Eduardo Luiz Machado

Silas Derenzo

Assistentes Editoriais

Denís Martins Lemos

Flavio Sergio Jorge de Freitas

João Antonio Rodrigues Garcia

Mariana Mesa Varon

ISSN 2526-5830

Copyright© IPT. Todos os direitos reservados. Todos os textos, imagens, gráficos, e outros materiais são protegidos por direitos autorais e outros direitos de propriedade intelectual pertencentes ao IPT. A reprodução dos textos da Revista IPT somente será permitida para fins didáticos e de pesquisa, desde que com a citação deste material. Proibida a reprodução total ou parcial, com intuito de lucro direto ou indireto, por qualquer meio ou processo.

Créditos técnicos

DIAGRAMAÇÃO E ARTE:

Silvia Megumi Mizoguti Padovani

REVISÃO:

Eduardo Luiz Machado

José Maria de Camargo Barros

sapiens.ipt.br

revista@ipt.br

Av. Prof. Almeida Prado, 532
Cidade Universitária - Butantã
05508-901 - São Paulo - SP

ISSN 2526-5830



na capa
Foto Canva

revista IPT
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

#26

revista IPT
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

SUMÁRIO

artigos técnicos

06 Utilization of biofuels co-products for reduction carbon footprint of materials for civil construction - An overview

Autores: Vittor Rodrigues Santos Alves, Denis Correa Meyer

31 Avaliação do Programa Atuação Responsável® na indústria química brasileira para proteção ambiental e prevenção de acidentes.

Autores: Débora Leite Isaac, Eduardo Luiz Machado

52 Estimativa do efeito da fluência de materiais resilientes no desempenho ao ruído de impacto em contrapisos flutuantes

Autores: Henrique Lima Pires, Marcelo de Mello Aquilino, Maria Akutsu

70 Diretrizes para obtenção de fluxo de produção em obras rápidas de varejo por meio do planejamento baseado em locais

Autores: Victor Terrini, Hylton Olivieri, Sandra Haruma Hashizume

CAMPEÕES EM CONSTRUÇÃO

Nem bem terminaram os Jogos Olímpicos e os Paralímpicos de Paris, e a vigésima sexta edição da 'Revista IPT, Tecnologia e Inovação' chega aos leitores apresentando seus campeões. Não são campeões de uma determinada modalidade esportiva, mas da pesquisa aplicada. Em quatro artigos técnicos com o mais alto desempenho, especialmente selecionados para esta edição, os autores participam de um revezamento com índices verdadeiramente olímpicos em quesitos como impactos ambientais, resiliência de materiais e método construtivo. Confira.

Artigo intitulado *"Utilization of biofuels co-products for reduction carbon footprint of materials for civil construction - an overview"* (somente em inglês) abre esta edição. Seus autores são Vittor Rodrigues Santos Alves e Denis Correa Meyer, ambos ligados ao Laboratório de Bioenergia e Eficiência Energética do IPT e à Fundação de Apoio ao IPT (Fipt). Para enfrentar o desafio das emissões fortemente associadas à produção de materiais de construção, os autores dão uma visão geral sobre a fabricação de biomateriais, a partir de cinzas de biomassa e biocarvão, como estratégia para diminuir a pegada de carbono e seus impactos ambientais.

A seguir, o artigo intitulado 'Avaliação do Programa Atuação Responsável na indústria química brasileira para proteção ambiental e prevenção de acidentes'. Seus autores são Débora Leite Isaac, do Mestrado Profissional em Processos Industriais do IPT, e Eduardo Luiz Machado, docente no mesmo Mestrado, que fizeram um estudo exploratório dos resultados de indicadores do programa Atuação Responsável, baseado nos princípios do Responsible Care Global Charter e nas diretrizes do Responsible Care, concluindo que este sistema de gestão contribui para a proteção ambiental e prevenção de acidentes.

O tratamento acústico nos ambientes com longa permanência de pessoas deve apresentar desempenho adequado, conforme normalização técnica e regulamentações. Partindo desta premissa, os autores do artigo "Estimativa do efeito da fluência de materiais resilientes no desempenho ao ruído de impacto em contrapisos flutuantes" propõem estimar o efeito da fluência de materiais resilientes no desempenho ao ruído de impacto em contrapisos flutuantes, pelo método da determinação da rigidez dinâmica. São eles: Henrique Lima Pires, da Fundação de Apoio ao IPT (Fipt) e mestre em Habitação: Planejamento e Tecnologia; o mestre em Habitação: Planejamento e Tecnologia Marcelo de Mello Aquilino, e a doutora em Arquitetura e Urbanismo Maria Akutsu, ambos do Laboratório de Conforto Ambiental, Eficiência Energética e Instalações Prediais do IPT e docentes no Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia.

Em "Diretrizes para obtenção de fluxo de produção em obras rápidas de varejo por meio do planejamento baseado em locais", uma proposta de diretrizes para auxiliar profissionais que atuam em obras rápidas de varejo na implementação do conceito de fluxo de produção, com métodos de planejamento e controle baseado em locais: as ferramentas Takt Production (TP) e Location Based Management System (LBMS). Seus autores são: Victor Terrini, do Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia do IPT; o docente Hylton Olivieri e a docente-visitante Sandra Haruma Hashizume, ambos no Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia do IPT.

Boa leitura!

*Eduardo
L. Machado*

Eduardo Luiz Machado
Diretor Técnico em Ensino Tecnológico



Artigo Técnico

Utilization of biofuels co-products for reduction carbon footprint of materials for civil construction - An overview.

Vittor Rodrigues Santos Alves^{ab*},
Denis Correa Meyer^{ab}

^a Laboratory of Bioenergy and Energy Efficiency, Institute for Technological Research of the State of São Paulo S.A - IPT, São Paulo-SP, Brazil.

^b Foundation of Support to the Institute for Technological Research- FIPT, São Paulo-SP, Brazil.

*e-mail: vittoralves@ipt.br

Keywords: building materials, biomass ashes, biochar, bio-based materials.

Abstract

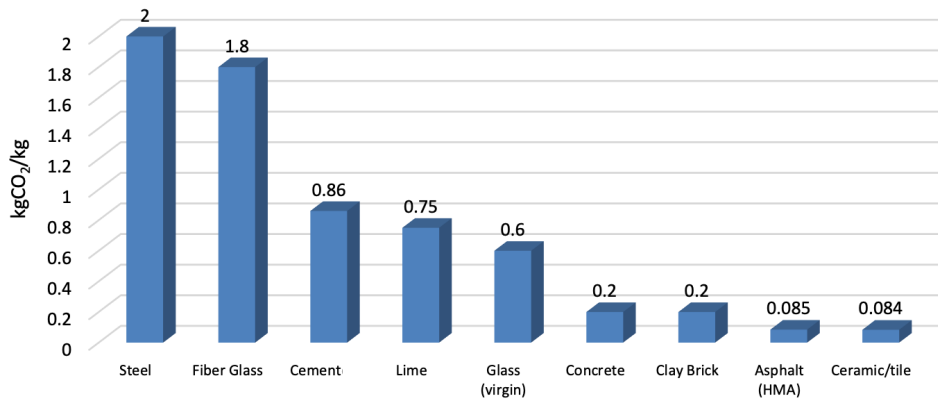
The production of construction materials stands as a pivotal industrial sector in Brazil and worldwide, wielding significant economic influence. However, it also significantly contributes to greenhouse gas emissions and natural resource depletion. Thus, developing new bio-based construction materials emerges as a strategy to mitigate the carbon footprint and environmental impacts of this sector. This study aims to provide an overview of implementing two crucial biomass derivatives, biomass ashes, and biochar, in various construction materials such as supplementary cementitious materials (SCM), lightweight aggregates, concrete formulations, mortars, insulation materials, etc. The assessment encompasses not only the mechanical, physico-chemical, and durability properties of these novel materials but also the importance of analyzing their generation and characteristics that could influence the development of new and more eco-friendly building materials. This includes considerations of the synthesis process (combustion and pyrolysis) and the key properties of ash and biochar.

1 Introdução

The construction industry ranks among the most significant sectors in terms of energy consumption and reliance on fossil fuels, leading to substantial CO₂ emissions during the production of various construction materials. According to the International Energy Agency (IEA), the construction sector accounts for 36% of global energy consumption among industrial sectors, contributing to 39% of related CO₂ emissions. Within this CO₂ fraction, approximately 11% is attributed to the production of materials for buildings and constructions (IEA, 2019; Ali *et al.*, 2020).

The intensity of carbon emissions and energy consumption throughout the production process of construction materials are closely correlated, highlighting the imperative for developing circular processes or innovative materials capable of mitigating CO₂ emissions within this production chain (Shuvo & Sharmin, 2022; Barcelo *et al.*, 2014). **Figure 1** depicts the average CO₂ emission rate per unit (kg) of different building and construction materials.

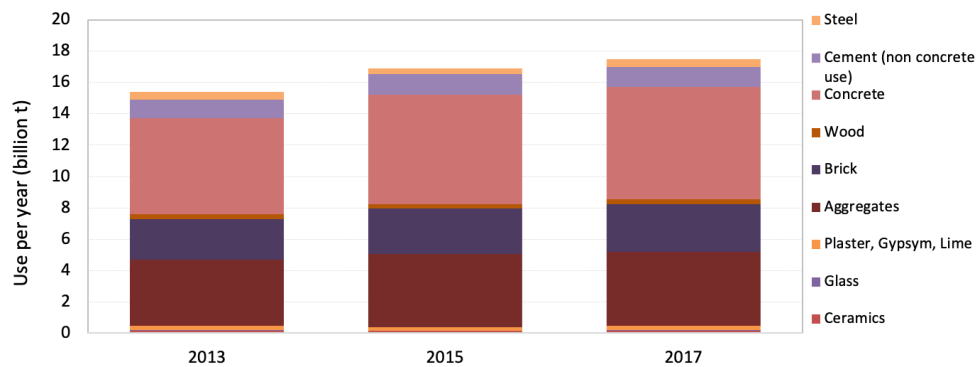
Figure 1 – Emissions of CO₂ of some building materials.



Source: Prepared by the author

The data indicates that steel, glass materials, and cement exhibit the highest carbon intensity in their production processes, coupled with significant energy consumption. However, these figures solely depict the absolute emissions impact of these construction materials. To gain a comprehensive understanding of the true implications of their current utilization, it is imperative to assess their global consumption on a worldwide scale. **Figure 2** illustrates the global consumption (in billion tons) of construction materials during the years 2013-2017.

Figure 2 – Global uses of construction materials of 2013 – 2017.



Source: Adapted from Huang et al. 2020

Consumption data from 2017 reveals that the most utilized construction materials globally include concrete, aggregates, bricks, and cement (non-concrete use). Notably, the consumer market is predominantly led by China, accounting for a substantial 55% share of global construction material consumption during this period, trailed by India (11%), Europe (8%), and Latin America (7%) (Huang et al., 2020). These findings underscore the imperative of exploring solutions and innovations aimed at reducing energy consumption and dependence on fossil fuels in the production of these materials (Ali *et al.* 2020). This may involve the adoption of circulation strategies or the integration of biomaterial sources to either partially or entirely substitute conventional materials.

The process of "defossilization" in industrial production entails transitioning from energy and carbon matrices reliant on fossil fuels to those derived from clean energy sources and biological or circular carbon sources, such as CO₂ utilization. Within this paradigm shift, numerous strategies have been developed or are in development to mitigate or even neutralize emissions from the production of construction and paving materials. Many of these technologies are founded on the utilization of fractions or by-products derived from the energy conversion of lignocellulosic biomass or waste materials. Examples include processes such as combustion to produce steam or electricity, as well as fast or slow pyrolysis to yield bio-oil or biochar.

Considering the significance of biomass utilization in the global energy landscape, particularly in countries like Brazil, fostering discussion and disseminating technological advancements could aid the industrial construction sector in achieving greenhouse gas emission reduction targets. Thus, this article highlights recent developments pertaining to the incorporation of biomass energy processing by-products in construction material production, alongside an examination of key economic parameters.

2 Biomass ash applications

Based on data extracted from the national energy balance report of the "Empresa de Pesquisa Energética - EPE" for the year 2023, the utilization of sugarcane bagasse and other renewable energy sources, such as firewood and biomass, accounts for approximately 5.5% of the internal supply of electrical energy. This observation holds significance as the generation of electrical energy from biomass involves a combustion process (thermal process), resulting in the production of pressurized steam designated for a power

cycle. It is noteworthy that in numerous instances, several industries employing biomass boilers to generate steam for their internal operations are not captured within the scope of electrical energy generation data.

The biomass combustion process occurs through the reaction between fuel and air at elevated temperatures within a furnace, which can vary across different types such as grate (stationary, vibrating, alternative, and mobile) or fluidized bed (bubbling or circulating) furnaces. The choice of furnace type depends on the combustion capacity and the physical-chemical properties of the biomass. During the combustion process, combustion gases, including CO₂, N₂, and excess O₂, are produced as effluents, along with contaminants and incomplete combustion by-products such as CO, SO_x, NO_x, HCl, dioxins, and furans.

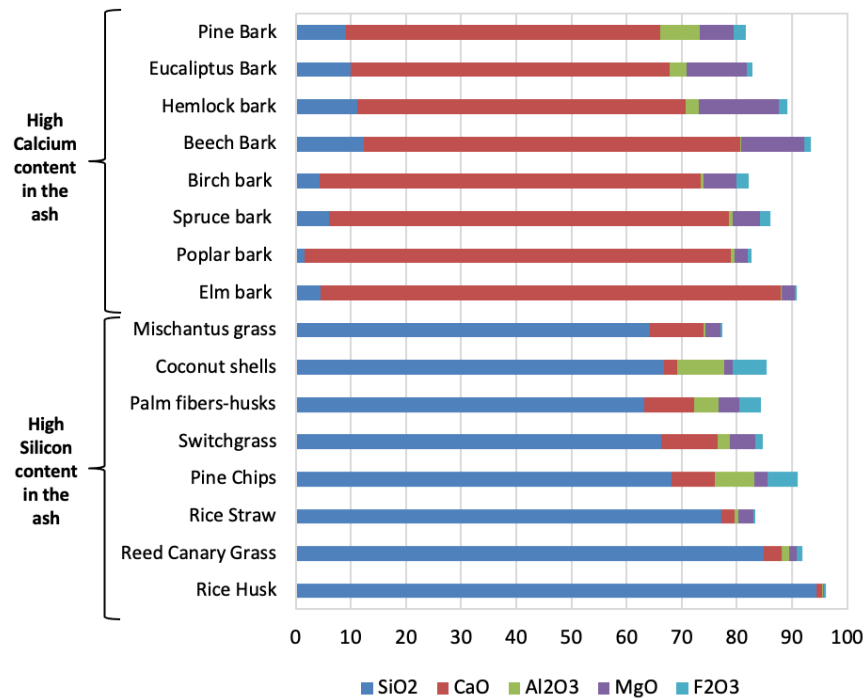
The ash residue, representing the non-combustible fraction of biomass, primarily comprises inorganic compounds. Two types of ash are generated in the biomass combustion process: bottom ash and fly ash. Bottom ash consists of the dense and coarse fraction of ash produced in the grate or primary combustion chamber. Typically, it may contain slag, unburned fuel residues, and mineral impurities. Fly ash comprises particles of low particle size and density that are entrained with the combustion gases and collected in a particle collection system.

Although derived from the same raw material, fly and bottom ash may exhibit distinct characteristics contingent upon the dynamics of the combustion process employed during biomass incineration. Properties such as granulometry, concentration of specific inorganic mineral ores, and the presence of unburned carbon are among the factors that differentiate these two types of ash and influence their suitability as pozzolanic or supplementary cementitious materials.

2.1 Fly Ash

The composition of collected fly ash can vary significantly, influenced directly by the biomass source. Numerous biomass types contain elevated concentrations of elements conducive to pozzolanic activation, notably Silicon (Si), Aluminum (Al), Iron (Fe), Calcium (Ca), and Magnesium (Mg). **Figure 3** presents a compilation of biomass and biogenic wastes with notable content of these elements in their ash composition (Garcia-Maraver, 2016).

Figure 3 – Contents of SiO₂, CaO, MgO, Al₂O₃ e Fe₂O₃ in some biomass ashes.



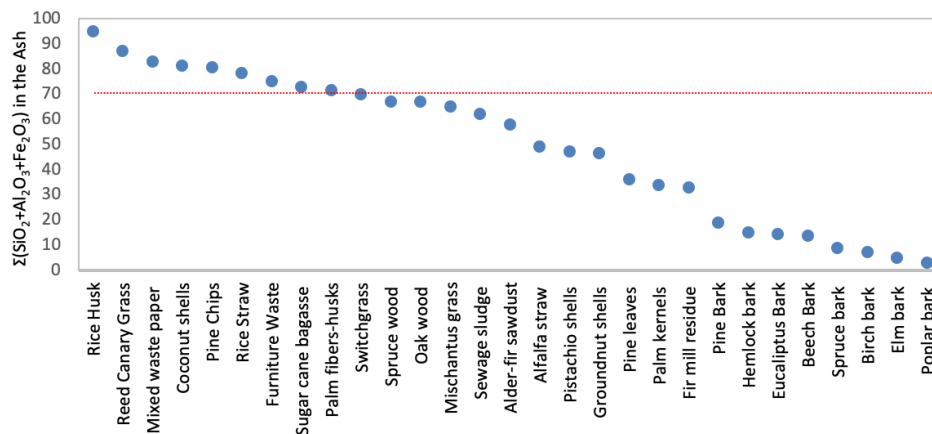
Source: Prepared by the author

Pozzolanic materials refer to substances that, upon combination with lime (calcium oxide) and water, undergo a chemical reaction leading to the formation of cementitious compounds. This reaction is similar to the process that occurs during the hardening of Portland cement. Some data indicate that when the sum of the total active oxides of SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ in the ash is greater than 70%, there is a good possibility that this is an excellent pozzolanic material (Sun et al., 2023). According to this information, Figure 4 shows biomass with a high propensity to generate ash with good pozzolanic activity. It is possible to observe that derivatives of rice biomass (husk and straw), coconut shells, palm fibers, sugar bagasse, and switchgrass can generate ash with promising properties to generate good supplementary cementitious materials.

It is worth highlighting that not only the chemical composition of the ash is important to evaluate its potential for use as an eco-substitute for construction materials, but also other physical, chemical, and mechanical properties. These properties include density, porosity, specific surface area, particle size distribution, water absorption, and friability, in addition to identifying the mineralogical phases. These parameters are crucial in influencing the formulation of new materials as well as their usability (Cabrera, 2014).

Sun *et al.* (2023) conducted a comprehensive evaluation of ash additions from various biomass sources, including rice husk, palm oil biomass, sugarcane bagasse, corn cob, and elephant grass, at different replacement levels in the formulation of different concrete mixtures, such as high-strength concrete, self-compacting concrete, lightweight aggregate concrete, ordinary concrete, and ultra-high-performance concrete, as well as cement mortar. The study aimed to assess differences in mechanical properties and durability across these mixtures. Results indicated that while corncob ash impacted negatively concrete properties due to its high alkaline element content, notably potassium (K_2O), rice husk ash significantly enhanced both the mechanical properties and durability of concrete. However, its high SiO_2 content and specific surface area led to reduced workability. Overall, minor fractions of biomass ash did not cause significant effects on concrete and cement mortar properties.

Figure 4 – Sum of SiO_2 , Al_2O_3 and Fe_2O_3 contents in the ash of biomass with content of silicon, aluminum and iron.



Source: Prepared by the author

Tosti *et al.* (2018) examined the disparities among three types of fly ash derived from different biomass combustion processes and subsequently incorporated into cement mortar as secondary cementitious materials. The three ashes originated from the combustion of clean wood in a fluidized bed (FA1), combustion in a pulverized fuel furnace (FA2), and the combustion of paper sludge mixed with demolition wood in a fluidized bed (FA3). While the replacement of up to 40% of FA1 and FA3 in Portland cement exhibited a

certain reduction in compressive strength, it still demonstrated some level of applicability, whereas the performance of FA2 was inferior. Furthermore, all samples underwent leaching tests to evaluate their resistance, and they all met the standard criteria for reuse.

Fly ash, apart from serving as a supplementary cementitious material, has also been utilized in the synthesis of lightweight aggregates, either through pre-synthesis or by grinding it to appropriate particle sizes. Several studies suggest that incorporating fly ash in the production of lightweight aggregates can yield a significant reduction in density, accompanied by enhanced mechanical strength and durability. This presents advantages such as decreased transportation costs for concrete and mitigating environmental impacts associated with lightweight aggregate production (Kayali, 2008). Punlert *et al.* (2017) formulated a lightweight aggregate by blending clay with ash derived from combustion in the cellulose and paper sector. Their findings indicated excellent performance when using a 80:20 ratio of clay to ash and sintering temperature of 1250 °C. Substituting coarse aggregates with this lightweight aggregate at 100% in concrete production resulted in a 25% reduction in weight, among other beneficial properties.

2.1 Bottom Ash

The volume of research dedicated to formulating construction materials and civil infrastructure utilizing biomass fly ash far surpasses that focused on bottom ash. While fly ash generally exhibits finer and more uniform characteristics compared to bottom ash, recent significant research indicates its practical feasibility (Cabrera *et al.*, 2014).

Most biomass combustion processes yield bottom ash with a predominant composition of SiO₂ and CaO, alongside trace elements such as iron, aluminum, and magnesium, the proportions of which vary considerably depending on the biomass type and combustion system employed. Cabrera *et al.* (2020) conducted an extensive evaluation of the utilization of bottom biomass ash across various applications, including the formulation of innovative sustainable cement-based materials like cement mortar and concrete. **Table 1** presents key conclusions drawn from their research.

Table 1 – Some impacts and effects of adding biomass heavy ash to mortars, concretes and CTGM.

Application of BBA	Main Conclusions
Cement mortars	The prevalent presence of SiO_2 and CaO in most bottom ash samples renders them with favorable pozzolanic activity. Nevertheless, certain findings suggest that incorporating bottom biomass ash (BBA) into mortar formulations leads to a decrease in density and diminished mechanical strength, attributed to an increase in porosity induced by its addition. The results are inconclusive regarding whether this effect stems the presence of unburned organic matter in the bottom ash.
Concrete	Overall, the incorporation of biomass bottom ash into concrete formulations typically results in a deterioration of mechanical properties. Concrete mixes with lower water-to-binder ratios are particularly affected, as the dense ash tends to absorb water, thereby directly impacting both mechanical behavior and workability.
Cement-treated granular materials - CTGM (or cement soil)	Biomass bottom ash, characterized by elevated levels of CaO and $\text{Al}+\text{Si}+\text{Fe}$ in its composition, enhances the mechanical properties of treated soil when combined with cement. Moreover, the substantial CaO content has been demonstrated to enhance the bearing capacity of soils.

Source: Prepared by the author

A recent study utilized woody bottom biomass ash sourced from a large-scale fluidized bed boiler (22 MW), characterized by a high silica content in its chemical composition and mineralogical phases (SiO_2). The $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ composition amounted to 91%. This ash was employed as a substitute for sand in mortar mixtures. The findings indicate that at lower and moderate substitution rates, there were improvements in mechanical strength and open porosity properties. Despite observing some alterations in hydration degree and kinetics, the utilization of this biomass bottom ash appears feasible as a sand material in the formulation of mortars and cementitious materials (Schlupp et al., 2023).

Another important construction material with high embodied energy consumption are bricks, the production of which uses tens of GWh including electrical and thermal energy, mainly due to the consumption of natural gas. In this scenario, research is also studied the utilization of lignocellulosic biomass ashes as source to production new and sustainable formulations of bricks (Labaeid et al. 2012). Although there are several kinds of bricks (like Common Burnt Clay Bricks, concrete bricks, Sand Lime Bricks, Engineering Bricks, acid proof bricks, Flay Ash Clay Bricks and other variations) the traditional bricks

production involves the preparation and molding of raw materials (such as clay, shale, etc.), followed by a high-temperature firing process wherein sintering and mechanical stabilization of the brick occur.

Research has demonstrated the technical feasibility of incorporating bottom biomass ash (derived from pine-olive pruning, wood, olive pomace, and olive stone) at a replacement rate of 20% of clay in brick manufacturing processes. It was observed that the addition of biomass enhances the thermal insulation properties of the bricks. However, an excess of bottom wood ash resulted in a reduction in compressive strength of approximately 18-31% compared to traditional clay bricks. From an environmental perspective, the utilization of biomass bottom ash, particularly from wood, emerges as a promising alternative for promoting circular economy principles and mitigating the environmental impacts associated with residual ash disposal in landfills (Eliche-Quesada et al., 2017).

In addition to fly ash, several studies have indicated the potential use of biomass bottom ash in the manufacturing of lightweight aggregates for the production of lightweight concrete. These studies have explored the combustion of common biomass sources such as wood and have examined ash derived from the incineration process of urban solid waste. Investigations have focused on varying replacement and mixing rates with expanded clay, alongside thermal sintering processes (Cuenca-Moyano et al., 2023; Woo et al., 2021; Giro-Paloma et al., 2017).

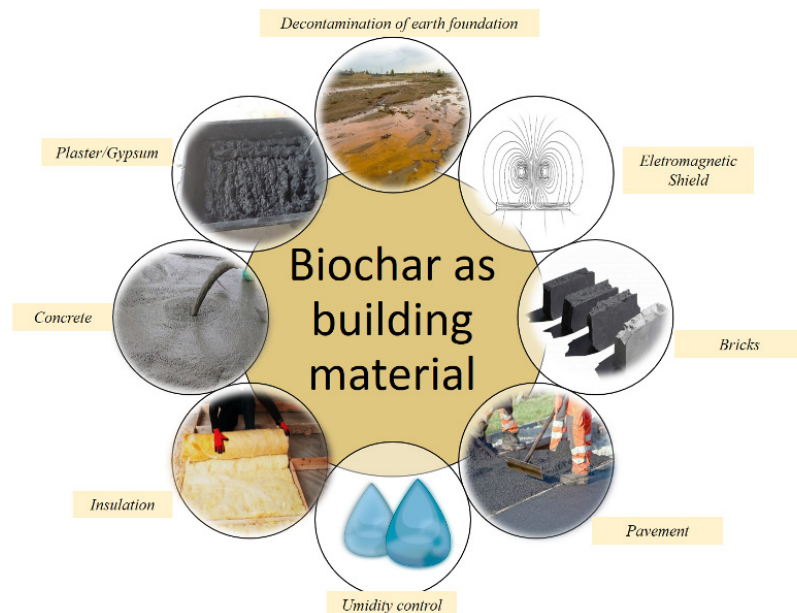
3 Biochar applications

Biochar is a solid carbonaceous produced through thermochemical processing at high temperatures and in the absence of oxygen of the several kind of materials like organic waste such as crop residues, forestry waste, urban solid waste fractions, animal manure, and sewage sludge. The primary method for generating biochar is through the pyrolysis process, wherein biomass is fractionated into biochar, gas, and bio-oil. Slow pyrolysis, conducted at temperatures ranging from 300 to 500°C with extended residence times, yields the highest quantity of biochar. Intermediate and fast pyrolysis processes also produce biochar, albeit with lower yields. Additionally, traditional methods like gasification and innovative techniques such as hydrothermal carbonization and flash carbonization, involving intense conditions of temperature, pressure, and biomass input, have emerged as potential biochar production methods, each imparting specific energy and biochar characteristics. Owing to its stable carbonaceous structure, biochar has garnered significant attention for various applications, serving as a versatile tool for circular

bioeconomy strategies. These applications include soil amendment, energy storage, catalyst and absorbent production, composting, among others (Yaashikaa et al., 2020).

According to IPCC (International Panel Carbon Control) guidelines, biochar is one of the five technologies recognized for carbon sequestration, with 1 ton of biochar saving around 2.2 tons of CO₂ (Pecha et al. 2022). Biochar has emerged as a significant material in the construction and pavement sectors, primarily owing to its capacity for carbon sequestration. Its utilization substantially contributes to mitigating the greenhouse effect associated with the production and use of construction materials, while also enhancing their quality. These properties position biochar as a powerful tool for fostering the development of low-carbon cities (Chen et al., 2023). Figure 5 illustrates various applications of biochar in this sector.

Figure 5 – Biochar applications as building material.



Source: Prepared by the author

3.1 Biochar as supplementary cementitious material (SCM)

Each biochar generation process, whether through pyrolysis, gasification, or hydrothermal conditions, yields biochar with specific characteristics and properties. However, biochar produced via the traditional fast pyrolytic process generally exhibits favorable properties for serving as supplementary cementitious materials. These properties include a high specific surface area and increased water sorption capacity, enabling significant cementitious replacement values. Numerous studies have been published investigating

the formulation of cement and aggregate substitution in construction materials. These studies encompass analyses of rheology, thermal and mechanical properties, cement hydration mechanisms, and environmental considerations (Mensah et al., 2021).

Numerous published studies have indicated that the addition of biochar to cement paste or composites significantly influences the performance of these materials. Parameters such as workability, hydration, as well as transfer and mechanical properties, have been shown to improve with the incorporation of biochar as a supplementary cementitious material. Maljaee *et al.* (2022) underscore in their study that the mechanical properties and moisture transfer in cementitious materials containing added biochar are strongly dependent on and directly influenced by the physicochemical characteristics of the biochar, the type of feedstock utilized, its granulometry, and the conditions during the formulation of the cementitious material.

Several significant research studies have examined the effects of incorporating biochar into cementitious materials. **Tables 2, 3, and 4** provide a summary of the primary causes and observed effects on the physical, mechanical, and durability properties of cementitious materials resulting from the addition of biochar sourced from various origins and processing methods (Gupta et al., 2018; Akinyemi et al., 2020).

Table 2 – General effects of biochar addition on the physical properties of cementitious composites.

Propertie	Effects and results observed
Workability	The incorporation of waste biochar typically results in a decrease in the workability of mortar mixes. This reduction can be attributed to the high-water absorption capacity of biochar, wherein the mixture restricts the availability of water necessary for workability. Consequently, achieving optimal workability necessitates a greater demand for water in the mixture.
Setting Times	The incorporation of biochar into cement-based materials has been found to decrease setting times primarily through two mechanisms. Firstly, biochar particles act as additional nucleation sites for cement hydration, accelerating the hydration process and enhancing the formation rate of hydration products such as calcium hydroxide (Ca(OH) ₂) and calcium silicate hydrate (C-S-H). This accelerated formation of hydration products results in a reduction in setting time. Additionally, the presence of biochar leads to a reduction in free water content, further contributing to the decrease in setting time.
Air Content	The incorporation of biochar into mortar mixes has been observed to increase the air content, primarily attributed to the porous structure of biochar.

Source: Prepared by the author

Table 3 - General effects of biochar addition on the mechanical properties of cementitious composites.

Properties	Effects and results observed
Compressive strength	Compressive strength exhibited varied responses in accordance with technical data available in the literature. However, it is generally indicated that incorporating low levels of biochar in lieu of Portland cement in mortar mixes may result in a slight improvement in compressive strength.
Tensile strength	In a manner analogous to compressive strength, modest enhancements in compressive strength are observed with minor rates of substitution of biochar derived from wood waste (up to approximately 2%). However, augmenting this proportion results in a deterioration of this parameter. The introduction of elevated levels of this type of biochar correlates with a decline in tensile strength, attributed to a reduction in the quantity of hydrated calcium silicate formed relative to lower cement content. Conversely, the incorporation of rice husk biochar confers a benefit to tensile strength when utilized for up to 10% cement replacement. In this instance, the potential refinement of the interfacial transition zone is ascribed as a contributing factor.
Flexural strength	The enhancement of flexural strength in concrete upon the addition of biochar is contingent upon factors such as the biochar's source and the curing methodology employed. In instances where the inclusion of biochar results in a reduction of pore content within concrete, an amelioration of flow resistance is observed. Additionally, research indicates that the wet curing process yields more favorable outcomes and is recommended for cementitious composites containing biochar. In contrast, air curing may yield marginal improvements in flux resistance.

Source: Prepared by the author

Table 4 – General effects of biochar addition on the durability properties of cementitious composites.

Properties	Effects and results observed
Water absorption	Even at low contents (< 5%), biochar demonstrates an ability to diminish the porosity within mortar mixtures. This reduction in porosity restricts water absorption, thereby limiting the depth of water penetration.
Shrinkage properties	The impact of biochar on shrinkage properties remains ambiguous and heavily dependent on the biochar's raw material and production conditions. Some findings suggest that when biochar replaces cement, it may increase drying shrinkage during early stages. However, at later ages, even at low levels of cement replacement (2%), a decrease in shrinkage can be observed.
Resistance to elevated temperature	When compared to concretes produced solely with Portland Cement, the incorporation of biochar into the concrete mix was observed to enhance resistance to temperature rise. Concretes formulated with a fraction of biochar replacing cement exhibited reduced mass losses at elevated temperatures (550°C). The porous structure of biochar contributes to a decrease in the thermal conductivity of the mixture and impedes the accumulation of pressure within the composites.

Source: Prepared by the author

3.2 Biochar for insulation material and electromagnetic shield

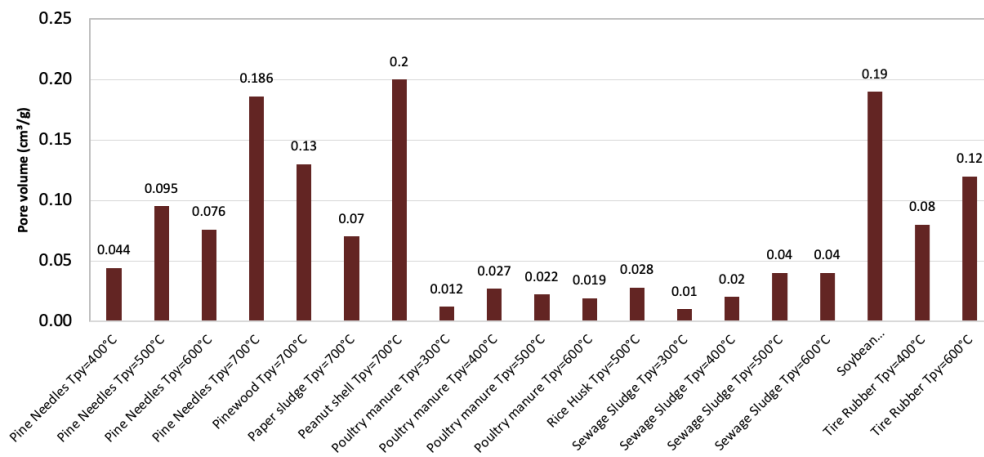
Due to its porosity and fines generation characteristics, biochar has great potential to replace fine aggregates in concrete formulations. Furthermore, its porous structure assure low thermal conductivity for biochar based concretes contributing for thermal insulation of the buildings. The extent of porosity in biochar is strongly influenced by the biomass feedstock, pyrolysis process, and pyrolysis temperature. Moderate pyrolysis temperatures are known to yield higher levels of porosity in biochar (Li *et al*, 2023).

The incorporation of biochar into cementitious materials promotes increased porosity within the new material, facilitating multidimensional heat distribution and mitigating unidirectional heat flow, thus enhancing thermal insulation properties. Several studies have demonstrated that the addition of biochar results in a reduction of thermal conductivity in biochar-cement composites by approximately 25% and in biochar-clay composites by up to 67% (Osman, 2024).

Another notable benefit attributed to the incorporation of biochar into cementitious composites is its potential for acoustic insulation and sound absorption. The interconnected network of pores within the biochar structure creates a pathway for sound waves to pass through, dissipating them through refraction effects and converting them into heat within the pores (Cuthbertson, 2019). Additionally, studies suggest that the enhanced acoustic insulation achieved through the addition of biochar within the frequency range of 20-2000 Hz exhibits a significant sound absorption coefficient, indicating promising potential for commercial utilization in the construction of panels for soundproof environments (Osman et al., 2024; Raja et al., 2023).

The findings indicate that incorporating biochar into cementitious composites, including clay composites, tends to decrease the density of the mixture, particularly in concretes formulated with biochar. This addition leads to significant enhancements in thermal and acoustic insulation properties. The principal attribute of biochar contributing to these property enhancements is its elevated level of porosity. Figure 6 depicts various types of biochar derived from diverse feedstocks and pyrolysis temperatures (Ahmad et al., 2014).

Figure 6 – Pore volume of biochar derived from various biomass sources.



Note: Tpy: pyrolysis temperature

Source: Prepared by the author

In addition to its role in providing thermal and acoustic insulation within building materials, biochar exhibits advanced applications as a construction material for protected environments. Its physicochemical properties, characterized by an amorphous carbohydrate structure and electrical conductivity, render biochar suitable for use as a lightweight construction material endowed with electromagnetic shield characteristics. This represents a significant application in construction, particularly in the contemporary era dominated by technology-driven lifestyles where exposure to electromagnetic fields is nearly unavoidable. Effective strategies to mitigate exposure involve reducing exposure time, distance, and employing shielding measures. Electromagnetic Interference (EMI) shielding materials operate through absorption and reflection mechanisms reliant on properties such as electrical conductivity and magnetic permeability. Certain carbon-based materials, including biochar, demonstrate electromagnetic shielding effects through both mechanisms, which can be further enhanced with the incorporation of metal oxide nanoparticles (Natalio et al., 2020).

For EMI applications, the structural properties of biochar are highly relevant, such as the quantity and dispersion of micropores. In general, pyrolysis processes at higher temperatures, around 700°C, microporosity and surface uniformity tend to increase in the biochar structure, while at lower temperatures amorphous regions are often observed. This greater porosity blocks the programming of electromagnetic waves, dissipating them in the form of heat due to impedance dissimilarity, improving microwave absorption properties. Furthermore, the greater number of micropores makes biochar an even lighter material for the mixing and formulation methods of polymer-based EMI shielding composites (Nikolopoulos et al. 2023)

Some studies have investigated the performance of Cement-based and polymer composites as constructive materials for electromagnetic shielding. di Summa et al. (2023) examined the impact of adding varying amounts of wood biochar (commercial) and sewage sludge on the magnetic shielding properties, considering the influence of different biochar contents and water levels in the cement paste formulation. They reported shielding effectiveness values exceeding 20 dB with wood biochar, with wet curing demonstrating superior benefits over air curing for EMI properties. Fenta and Ali (2024) investigated the effects of different biochars, each with varying carbon contents, obtained from pine wood, maize cob, sugarcane bagasse, and coffee husk through slow pyrolysis, when blended with HDPP for producing composites with electromagnetic shielding properties. Pine wood biochar exhibited the highest carbon content, pore volume (0.236 cm³/g), pore radius (9.897 Å), and specific surface area (734.5 m²/g). Composites containing 30-40% biochar showed significant enhancements in EM shielding effectiveness, reaching 44.03 dB at 2.1 GHz. Furthermore, the presence of func-

tional groups such as aromatic, aliphatic, alcohols, phenols, and oxygen-containing functional groups contributed to notable improvements in other pertinent properties of the composite, including electrical conductivity, thermal stability, composite crystallinity, and thermal stability.

3.3 Biochar for pavementation

One of the main applications of biochar, whether as a supplementary material or a substitute for aggregates in construction materials, involves its incorporation into asphalt-based materials for paving. This utilization serves dual purposes: firstly, it aids in reducing the carbon footprint within this sector, and secondly, it enhances the properties of the asphalt.

Carbon black and carbon fibers, traditionally employed as carbonaceous additives in asphalt mixtures due to their ready availability, primarily stem from fossil sources. In contrast, biochar has the capability to sequester and retain approximately 850 kg of CO₂ per ton of dry material over decades, rendering it an environmentally friendly source of carbonaceous material for the production of more sustainable modified asphalts (Zhao et al., 2014).

As previously mentioned, the characteristics of biochar crucially depend on the biomass source and pyrolysis process parameters, exerting significant influence on its performance as an asphalt additive. Key properties affecting its efficacy in this regard include:

- Presence of aromatic carbons: Enhances suspension stability with the asphalt binder, thereby improving the physical stability of modified asphalt;
- High specific area: Facilitates increased interaction between the binder and other asphalt constituents;
- Porous and fibrous structure: Acts as a skeletal filler, augmenting binder performance.

These properties have led to observations indicating that incorporating biochar in modified asphalts increases the proportion of viscous elements in the binder, resulting in notable enhancements in hot properties such as penetration, softening point, and viscosity, by approximately 35%. This underscores its applicability in tropical and sub-tropical regions (Ma et al., 2022).

Zhao *et al.* (2014) evaluated the performance of hot mixed asphalt (HMA) utilizing binders modified with biochar, alongside two other reference additives (carbon black powder and microsized carbon fibers), assessing various rheological properties. Results indicated significant improvements in moisture susceptibility and resistance to crack propagation with biochar additions ranging from 5-10%, thus suggesting its potential as an excellent additive for paving engineering (Legan *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2023).

However, notwithstanding the evident benefits, it's worth noting that biochar contains species, originating from biomass sources like nitrogen and phosphorus, which may leach as pollutants, particularly when applied in porous asphalt pavements, whether as a filler for asphalt formulation or as a filter layer (Jiawen Liu *et al.*, 2021).

Generally, studies employ biochar additions in the range of 2-20% in modified asphalt, with optimal values often reported below 10%. Despite the promising potential demonstrated in bio-asphalt production, these investigations are relatively recent, with fewer than ten years of publications, necessitating further validation across various aspects including biomass type, pyrolysis parameters, asphalt type, socioeconomic and environmental impacts, and the study of binder-biochar-aggregate interactions in asphalt formulation (Rondón-Quintana *et al.*, 2022).

4. Addressing CO₂ emissions in construction: opportunities and challenges

The utilization of biochar in the construction industry has been the subject of intensive studies by various researchers. According to Aman *et al.* (2022), the addition of biochar as a partial substitute for cement in concrete not only enhances its properties but also contributes to the reduction of CO₂ emissions. Experiments have indicated that the mineral carbonation of concrete composites containing biochar can increase their strength, thanks to the formation of calcium carbonate. Additionally, studies highlight the efficacy of carbon dioxide curing for concrete composites with biochar, demonstrating greater CO₂ capture compared to biochar-free mortar.

Regional governments have shown growing concern about carbon emissions from the construction industry, as pointed out by Chen *et al.* (2023). The construction phase presents considerable annual emissions per square meter, mainly due to the use and transportation of construction materials and equipment operation. The adoption of

sustainable materials and environmentally friendly practices during construction can significantly reduce these emissions.

Legan *et al.* (2022) emphasize the importance of reusing biomass waste in the form of biochar in construction materials to improve their mechanical and chemical properties, as well as reduce the carbon footprint. Studies have shown that the pyrolysis of biomass waste for biochar production is preferable to incineration due to lower greenhouse gas emissions. Biochar is capable of capturing CO₂, contributing to the reduction of carbon emissions in the construction industry.

The addition of biochar to cement has also been studied to mitigate CO₂ emissions associated with Portland cement production, as reported by Maljaee *et al.* (2021). Studies have indicated that biochar can improve the mechanical properties of cement and reduce greenhouse gas emissions during production. Additionally, biochar can be used in low-impact systems to treat stormwater, reducing urban runoff.

Zhang *et al.* (2022) highlight the importance of using filler materials, such as biochar, as a promising way to reduce CO₂ emissions in the production of construction materials. Studies have shown that the incorporation of biochar into cement systems can reduce CO₂ emissions by more than 13%. Furthermore, biochar as an aggregate in concrete can enhance CO₂ absorption and reduce carbon emissions associated with concrete production.

In summary, the use of biochar in the construction industry presents significant potential to reduce CO₂ emissions and promote environmental sustainability. However, further research is needed to fully understand the impact of biochar on different construction materials and its potential to mitigate climate change.

5. Conclusions, practical actions and future challenges

The construction industry stands at a critical juncture, facing the imperative of mitigating its substantial carbon footprint while concurrently addressing the escalating global demand for infrastructure. The imperative to reduce CO₂ emissions within the production of construction materials is of paramount importance, and the integration of biochar emerges as a promising avenue towards achieving sustainability objectives.

The production of bioenergy from biomass in thermoelectric plants can be considered a major producer of ash with high potential to be introduced as Supplementary Cementi-

tious Material (MCS), being one of the ways to slow down the environmental impacts associated with the generation of construction materials such as pozzolanic materials, lightweight aggregates, bricks formulations etc. Allowing the evolution of circular economy projects leading to co-production of bioenergy and construction materials with a lower environmental impact

Research on the use of biomass ash deserves to be highlighted in Brazil, due to the significant potential for using bioelectricity in its electrical matrix and, in addition, biomass with low alkalinity in ash, such as rice husks, coconut shells, pine shells, is highly prone to generate ash with good pozzolanic and cementitious properties. However, studies on greater durability that take into account the evaluation of the resistance of new ash-based concretes, taking into account variations in climate cycles and temporary events, are still scarce.

The efficacy of biochar in abating CO₂ emissions during the production of materials, particularly in concrete manufacturing, has been extensively documented. Numerous studies have underscored its potential not only in diminishing emissions but also in actively sequestering CO₂ from the atmosphere, thereby fostering a more favorable carbon balance throughout the lifecycle of construction materials.

However, unlocking the full potential of biochar in construction necessitates overcoming a myriad of challenges. Ensuring the widespread availability of biochar while simultaneously maintaining economic feasibility stands as a primary concern. Moreover, careful evaluation of environmental and social considerations is imperative to mitigate any adverse impacts associated with the scale-up of biochar production.

Despite these challenges, the integration of biomass ashes and biochar into construction offers a unique opportunity to mitigate CO₂ emissions and propel environmental sustainability forward. Sustained research endeavors and advancements in technology are indispensable in realizing the complete potential of these biomaterials and facilitating the transition towards more environmentally conscious and low-carbon construction practices on a global scale.

6 Acknowledgment

Acknowledgment to the Support Foundation for the Technological Research Institute of São Paulo.

7 References

Ahmad, M., Rajapaksha, A., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S. S., and Ok, Y. S., "Biochar as a Sorbent for Contaminant Management in Soil and Water: A Review," **Chemosphere**, Vol. 99, 2013, pp. 19-33, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.071>.

Ali, K. A., Ahmad, M. I., and Yusup, Y., "Issues, Impacts, and Mitigations of Carbon Dioxide Emissions in the Building Sector," **Sustainability**, Vol. 12, 2020, Article 7427, <https://doi.org/10.3390/su12187427>

Aman, A.M.N.; Selvarajoo, A.; Lau, T.L.; Chen, W.-H. Biochar as Cement Replacement to Enhance Concrete Composite Properties: A Review. **Energies** 2022, 15, 7662. <https://doi.org/10.3390/en15207662>.

Barcelo, L., Kline, J., Walenta, G., and Gartner, E., "Cement and Carbon Emissions," **Materials and Structures**, Vol. 47, 2014, pp. 1055-1065, <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0114-5>

Balanço energético Nacional. **Empresa de Pesquisa Energética**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>. Acesso 02 de Janeiro de 2024

Cabrera, M., Galvin, A. P., Agrela, F., Carvajal, M. D., and Ayuso, J., "Characterization and Technical Feasibility of Using Biomass Bottom Ash for Civil Infrastructures," **Construction and Building Materials**, Vol. 58, 2014, pp. 234-244, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.087>.

Chen, L., Huang, L., Hua, J. *et al.* Green construction for low-carbon cities: a review. **Environ Chem Lett** 21, 1627–1657 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01544-4>

Cuthbertson, D., Berardi, U., Briens, C., and Berruti, F., "Biochar from Residual Biomass as a Concrete Filler for Improved Thermal and Acoustic Properties," **Biomass and Bioenergy**, Vol. 120, 2018, pp. 77-83, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.11.007>.

Nikolopoulos, C. D., Baklezos, A. T., Kapetanakis, T. N., Vardiambasis, I. O., Tsubota, T., and Kalderis, D., "Characterization of the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Biochar-Based Materials," **IEEE Access**, Vol. 11, 2023, pp. 6413-6420, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3237327>.

Cuenca-Moyano, G. M., Cabrera, M., López-Alonso, M., Martínez-Echevarría, M. J., Agrela, F., and Rosales, J., "Characterization and Technical Feasibility of Using Biomass Bottom Ash for Civil Infrastructures," **Journal of Building Engineering**, Vol. 69, 2023, Article 106889.

di Summa, D., Ruscica, G., Savi, P., Manacorda, A., and Montanari, A., "Biochar-Containing Construction Materials for Electromagnetic Shielding in the Microwave Frequency Region: The Importance of Water Content," **Clean Technologies and Environmental Policy**, Vol. 25, 2023, pp. 1099-1108, <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02182-0>.

Eliche-Quesada, D., Felipe-Sesé, M. A., Martínez-Martínez, S., and Pérez-Villarejo, L., "Comparative Study of the Use of Different Biomass Bottom Ash in the Manufacture of Ceramic Bricks," **Journal of Materials in Civil Engineering**, Vol. 29, No. 12, 2017, Article 04017238, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002078](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002078)

Fenta AA, Ali AN. Development of biochar/HDPE composites and characterization of the effects of carbon loadings on the electromagnetic shielding properties. **Heliyon**. 2024 Jan 11;10(2):e24424. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e24424. PMID: 38293532; PMCID: PMC10826733.

Schlupp, F., Page, J., Djelal, C., and Libessart, L., "Use of Biomass Bottom Ash as Granular Substitute in Mortar," **Journal of Building Engineering**, Vol. 75, 2023, Article 106927, <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.106927>.

García-Maraver, A., Mata-Sanchez, J., Carpio, M., and Jiménez, J. A., "Critical Review of Predictive Coefficients for Biomass Ash Deposition Tendency," **Journal of the Energy Institute**, Vol. 90, 2017, pp. 214-228, <https://doi.org/10.1016/j.joei.2016.02.002>.

Giro-Paloma, J., Ribas-Manero, V., Maldonado-Alameda, A., Formosa, J., and Chimenos, J. M., "Use of Municipal Solid Waste Incineration Bottom Ash and Crop By-Product for Producing Lightweight Aggregate," **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, Vol. 251, 2017, Article 012126, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/251/1/012126>.

Gupta, S., Kua, H. W., and Koh, H. J., "Application of Biochar from Food and Wood Waste as Green Admixture for Cement Mortar," **Science of the Total Environment**, Vol. 619, 2018, pp. 419-435, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.030>.

Huang, B., Gao, X., Xu, X., Song, J., Geng, Y., Sarkis, J., Fishman, T., Kua, H., and Nakatani, J., "A Life Cycle Thinking Framework to Mitigate the Environmental Impact of Building Materials," **One Earth**, Vol. 3, 2020, pp. 564-569, <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.10.010>.

Maljaee, H., Madadi, R., Paiva, H., Tarelho, L., and Ferreira, V. M., "Incorporation of Biochar in Cementitious Materials: A Roadmap of Biochar Selection," **Construction and Building Materials**, Vol. 302, 2021, Article 122757, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122757>

Kayali, O., "Fly Ash Lightweight Aggregates in High Performance Concrete," **Construction and Building Materials**, Vol. 22, No. 12, 2008, pp. 2393-2399, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.11.002>.

Legan, M., Gotvajn, A. Ž., and Zupan, K., "Potential of Biochar Use in Building Materials," **Journal of Environmental Management**, Vol. 309, 2022, Article 114704, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114704>.

Li, H., Wang, L., Zhang, Y., Yang, J., Tsang, D., and Mechtcherine, V., "Biochar for Sustainable Construction Industry," in **Advances in Biochar Utilization**, 2023, pp. 15-32, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91873-2.00015-7>.

Liu, J., Li, H., Harvey, J., Zhang, H., and Tian, Y., "Application of Biochar on the Runoff Purification Performance of Porous Asphalt Pavement," **Transportation Safety and Environment**, Vol. 3, No. 4, December 2021, Article tdab026, <https://doi.org/10.1093/tse/tdab026>.

Ma, F., Dai, J., Fu, Z., Li, C., Wen, Y., Jia, M., Wang, Y., and Shi, K., "Biochar for Asphalt Modification: A Case of High-Temperature Properties Improvement," **Science of the Total Environment**, Vol. 804, 2022, Article 150194, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150194>.

Maljaee, H., Madadi, R., Paiva, H., Tarelho, L., and Ferreira, V. M., "Incorporation of Biochar in Cementitious Materials: A Roadmap of Biochar Selection," **Construction and Building Materials**, Vol. 283, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122757>.

Mensah, R. A., Shanmugam, V., Narayanan, S., Razavi, N., Ulfberg, A., Blanksvärd, T., Sayahi, F., Simonsson, P., Reinke, B., Försth, M., et al., "Biochar-Added Cementitious Materials—A Review on Mechanical, Thermal, and Environmental Properties," **Sustainability**, Vol. 13, 2021, Article 9336, <https://doi.org/10.3390/su13169336>.

Natalio, F., Corrales, T. P., Feldman, Y., Lew, B., and Graber, E. R., "Sustainable Lightweight Biochar-Based Composites with Electromagnetic Shielding Properties," **ACS Omega**, Vol. 5, No. 50, 2020, pp. 32490-32497, <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05357>.

Punlert, S., Laoratanakul, P., Kongdee, R., and Suntako, R., "Effect of Lightweight Aggregates Prepared from Fly Ash on Lightweight Concrete Performances," **Journal of Physics: Conference Series**, Vol. 901, 2017, Article 012086, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/901/1/012086>.

Raja, P., Murugan, V., Ravichandran, S., Behera, L., Mensah, R., Mani, S., Kasi, A. K., Babu, K. N. B., Sas, G., Vahabi, H., and Das, O., "A Review of Sustainable Bio-Based Insulation Materials for Energy-Efficient Buildings," **Macromolecular Materials and Engineering**, Vol. 308, 2023, <https://doi.org/10.1002/mame.202300086>.

Rondón-Quintana, H. A., Reyes-Lizcano, F. A., Chaves-Pabón, S. B., Bastidas-Martínez, J. G., and Zafra-Mejía, C. A., "Use of Biochar in Asphalts: Review," **Sustainability**, Vol. 14, No. 8, 2022, Article 4745, <https://doi.org/10.3390/su14084745>.

Shuvo, A., and Sharmin, S., "Carbon Emission Scenario of Conventional Buildings," **Journal of Construction Engineering, Management & Innovation**, Vol. 4, 2021, <https://doi.org/10.31462/jcemi.2021.03134150>.

Osman, A. I., Farghali, M., Dong, Y., et al., "Reducing the Carbon Footprint of Buildings Using Biochar-Based Bricks and Insulating Materials: A Review," **Environmental Chemistry Letters**, Vol. 22, 2024, pp. 71–104, <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01662-7>.

Sun, L., Yao, C., Guo, A., and Yu, Z., "A Review on the Application of Lignocellulosic Biomass Ash in Cement-Based Composites," **Materials**, Vol. 16, 2023, Article 5997, <https://doi.org/10.3390/ma16185997>.

Tosti, L., Zomeren, A., Pels, J., and Comans, R., "Technical and Environmental Performance of Lower Carbon Footprint Cement Mortars Containing Biomass Fly Ash as a Secondary Cementitious Material," **Resources, Conservation and Recycling**, Vol. 134, 2018, Article 10.1016/j.resconrec.2018.03.004.

Yaashikaa, P. R., Kumar, P. S., Varjani, S., and Saravanan, A., "A Critical Review on the Biochar Production Techniques, Characterization, Stability, and Applications for Circular Bioeconomy," **Biotechnology Reports**, Vol. 28, 2020, Article e00570, <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00570>.

Woo, B.-H., Jeon, I.-K., Yoo, D.-H., Kim, S.-S., Lee, J.-B., and Kim, H.-G., "Utilization of Municipal Solid Waste Incineration Bottom Ash as Fine Aggregate of Cement Mortars," **Sustainability**, Vol. 13, 2021, Article 8832, <https://doi.org/10.3390/su13168832>.

Zhang, Y., He, M., Wang, L., et al., "Biochar as Construction Materials for Achieving Carbon Neutrality," **Biochar**, Vol. 4, 2022, Article 59, <https://doi.org/10.1007/s42773-022-00182-x>.

Zhao, S., Huang, B., Shu, X., and Ye, P., "Laboratory Investigation of Biochar-Modified Asphalt Mixture," **Transportation Research Record**, Vol. 2445, No. 1, 2014, pp. 56–63, <https://doi.org/10.3141/2445-07>.

10.29327/2152495.8.26-1



Artigo Técnico

Avaliação do Programa Atuação Responsável® na indústria química brasileira para proteção ambiental e prevenção de acidentes.

Evaluation of the Programa Atuação Responsável® in the Brazilian chemical industry for environmental protection and accident prevention.

Débora Leite Isaac^a, Eduardo Luiz Machado^b

^a Mestrado em Processos Industriais – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo., São Paulo-SP, Brasil.

^b Docente de Mestrado Profissional em Processos Industriais – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo., São Paulo-SP, Brasil.

*e-mail:
debora.nunes@ensino.ipt.br

Palavras-chave: Programa Atuação Responsável®; Responsible Care®; Indústria química, Segurança do trabalho; Meio ambiente.

Keywords: Programa Atuação Responsável®; Responsible Care®; Chemical Industry; Occupational Safety; Environment.

Resumo

A indústria química é essencial para o desenvolvimento econômico brasileiro, suportando atividades econômicas de diversos setores industriais. A indústria química ainda é vista como um setor que impacta negativamente o meio ambiente e a segurança tanto de colaboradores quanto de comunidades vizinhas. Infelizmente nas últimas décadas vários foram os incidentes com consequências desastrosas, que acabam refletindo nesta percepção equivocada. O setor precisou reagir para reverter esta imagem negativa e o programa global Responsible Care® foi desenvolvido como uma ferramenta de gestão que estabeleceu diretrizes para as questões de segurança de processos, produtos, segurança e saúde do trabalhador e proteção do meio ambiente. No Brasil a iniciativa foi liderada pela Associação Brasileira da Indústria Química por meio do Programa Atuação Responsável® baseado nos princípios do Responsible Care® Global Charter e nas diretrizes do Responsible Care®. Este estudo explora o programa e analisa os resultados dos indicadores, que são apresentados no relatório de desempenho anual. Os resultados dos indicadores demonstram que este sistema de gestão contribui para a proteção ambiental e prevenção de acidentes.

Abstract

The chemical industry is essential for Brazilian economic development, supporting economic activities in several industrial sectors. The chemical industry is still seen as a sector that negatively impacts the environment and the safety of both employees and neighboring communities. Unfortunately, in recent decades, there have been several incidents with disastrous consequences, which end up reflecting this mistaken perception. Globally, the sector needed to react and the global Responsible Care® program was developed as a management tool that established guide-lines for issues of process safety, products, worker safety and health, and environmental protection. In Brazil, the initiative was led by the Brazilian Chemical Industry Association (ABIQUM) through the Programa Atuação Responsável® based on the Responsible Care® Global Charter principles and the Responsible Care® guide-lines. This study aims to present the program and analyze the results of the indicators, which are presented in the annual performance report. The results of the indicators demonstrate that this management system contributes to environmental protection and accident prevention.

1 Introdução

O modelo da Revolução Industrial visava o aumento da produtividade voltada ao crescimento econômico, com menos enfoque aos impactos ao meio ambiente ou à saúde e à vida da população. (POTT; ESTRELA, 2017)

O sistema de desenvolvimento adotado pela maioria dos países ainda é caracterizado pela utilização de tecnologias e processos obsoletos, que poluem e consomem recursos naturais. O modelo não leva em consideração o conceito de otimização de recursos materiais e energéticos, sendo caracterizado por uma dependência fundamental de quantidades cada vez maiores de recursos naturais e matérias primas (BORELLI, 2011).

A indústria química configura-se como um dos setores mais dinâmicos de uma economia industrializada, gerando produtos de alta demanda – diretamente por meio de fármacos, tintas, plásticos, fertilizantes – e indiretamente como insumos para outras indústrias, como têxtil, eletroeletrônica e automobilística, além de outros.

Essa capacidade possibilitou o notável crescimento da indústria química, exibindo a fusão de ciência, tecnologia e pesquisa na busca por produtividade, tornando-a uma indústria de base científica. Nessa perspectiva, a expansão da indústria química pode ser considerada um dos principais fatores de mudança social e econômica do século XX, pois os produtos químicos foram a base das transformações ocorridas nesse período.

A fabricação e distribuição de produtos químicos sintéticos tornaram-se relevantes para os processos industriais alguns anos após a Segunda Guerra Mundial, quando o crescimento e a expansão da economia internacional contribuíram muito para o desenvolvimento e expansão da indústria química, notando-se a substituição do carvão pelo petróleo como matriz energética.

Esta estratégia foi intensificada na década de 1990, promovendo a proliferação de novos produtos químicos, observando-se que os produtores se dividiam em dois grandes grupos, por um lado, os numerosos pequenos e médios produtores espalhados por todo o mundo, e, por outro por outro lado, as grandes corporações públicas e as corporações multinacionais que são, na verdade, responsáveis por liderar o setor. De referir ainda que o sucesso da indústria química no século XX deveu-se à criação contínua de novos produtos e ao desenvolvimento de mercados capazes de absorver a sua procura (DEMAJOROVIC, SANCH, 1999).

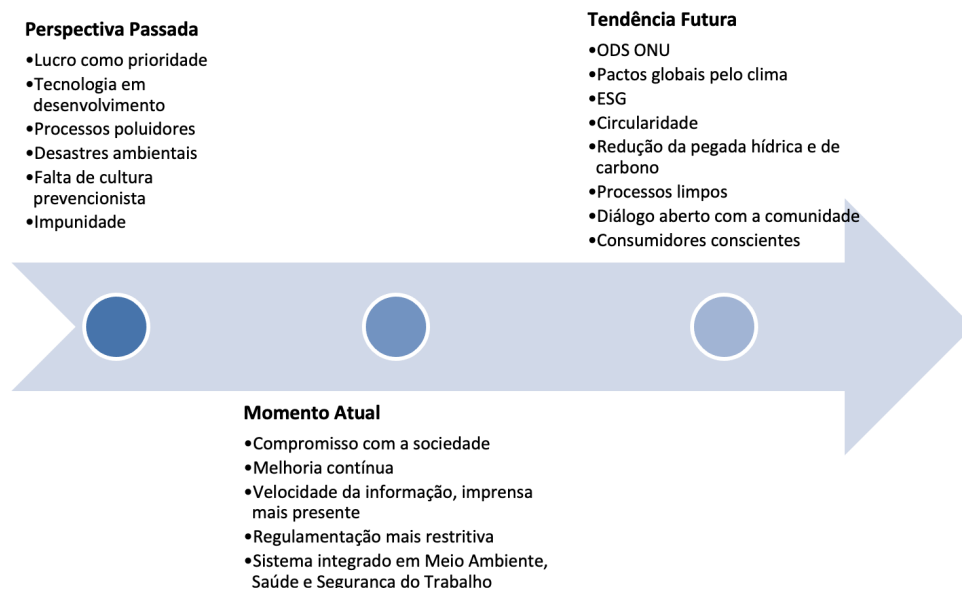
Portanto, o crescimento independente da indústria e as fortes capacidades de autofinanciamento com base no crescimento e inovação no mercado de produtos promoveram o desenvolvimento da indústria química.

O risco de acidentes de processos industriais químicos não atraía a atenção do público até a década de 1970, quando se tornou o foco de atenção de partidos políticos, ONGs e ambientalistas (FREITAS *et al.*, 1995). As questões ambientais relacionadas às atividades econômicas começam a atrair cada vez mais investimento e se tornam um fator diferenciador para a competitividade das empresas.

A redução do impacto ambiental e a segurança passaram a ser uma exigência para as empresas que desejam continuar atuando nos mercados nacional e internacional. As demandas ambientais e de segurança industrial se tornam uma necessidade de sobrevivência das indústrias.

As empresas começam a enfrentar as seguintes questões: operar de acordo com as leis e regulamentos ambientais, de saúde e segurança do trabalho, assumir a responsabilidade por possíveis danos ambientais, melhorar a imagem do setor e se aproximar das comunidades do entorno, fornecedores, clientes e órgãos fiscalizadores. A evolução das perspectivas da indústria química está descrita na **FIGURA 1**.

Figura 1 - Evolução das perspectivas da indústria química



Fonte: elaborado pelo autor

Como resposta a estas demandas, as associações do setor industrial químico passaram a implementar sistemas de gestão para incentivar seus associados a assumir o compromisso de reduzir seus impactos e atender códigos de conduta e boas práticas que tragam mais segurança às suas operações e mais confiança às partes interessadas.

1.1 Objetivo

O objetivo deste estudo é descrever o Programa Atuação Responsável®, adotado no Brasil pela Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM) e baseado nos princípios do Responsible Care®, que é utilizado como ferramenta de gestão para questões relacionadas a meio ambiente, saúde e segurança na indústria química brasileira. Além de avaliar o impacto da implementação do Programa Atuação Responsável® na indústria química brasileira, como ferramenta de gestão para melhorar os indicadores de desempenho ambiental e de segurança do trabalho. A maturidade e efetividade do programa são demonstradas por meio da análise dos resultados dos indicadores de desempenho do sistema ao longo dos anos, que também será objeto do estudo.

2 Procedimento metodológico

A pesquisa observou e compreendeu o impacto de implantação do Sistema de Gestão do Programa Atuação Responsável® na indústria química brasileira e sua contribuição para temas de segurança e meio ambiente. Sendo assim, para a realização do estudo de caso foi utilizado apoio teórico e metodológico de textos, manuais, relatórios e livros com base na temática, com ênfase aos relatórios de desempenho publicados. A metodologia de estudo de caso baseou-se na definição do problema estudado, no planejamento da coleta de dados e na análise dos dados. Análise dos dados foi o ponto mais importante e complexo do estudo (YIN, 2001).

O estudo de caso foi do tipo exploratório, enfocando em dados secundários dos relatórios de desempenho do Programa Atuação Responsável®. O aprofundamento sobre a importância do programa, sua implementação e sua real importância mediante a complexidade do setor industrial químico brasileiro se deram também por meio de consultas bibliográficas.

O resultado da análise dos dados é representado por meio dos gráficos de relatórios de desempenho publicados e da análise das tendências e resultados. Apesar de haver inúmeros dados reportados pelos associados à ABIQUIM todos os anos, apenas uma pequena parte deles é convertido nos indicadores que são reportados publicamente no Relatório de Desempenho dos Indicadores do Programa de Atuação Responsável®. Os indicadores objetos do estudo estão listados na **FIGURA 2**.

Figura 2 – Indicadores de desempenho Atuação Responsável®



Fonte: elaborado pelo autor

3 Resultados e discussão

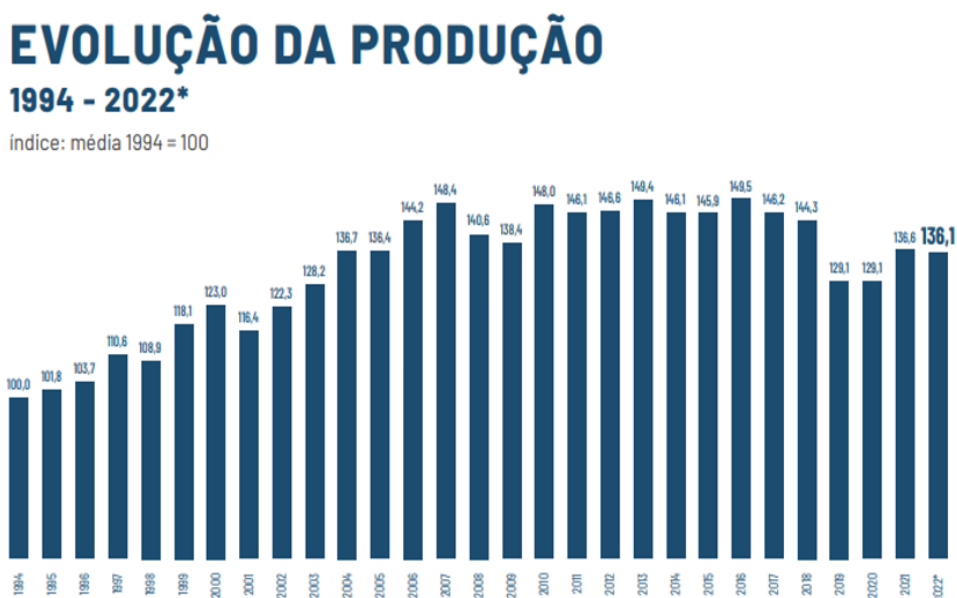
O objetivo específico deste estudo de caso foi analisar o impacto da implementação do Programa Atuação Responsável® na indústria química brasileira, como ferramenta de gestão para melhorar os indicadores de desempenho ambientais e de segurança do trabalho. A análise dos resultados foi realizada pela análise da evolução dos indicadores de desempenho relacionados à Segurança Ocupacional, Segurança de Processo, Meio Ambiente, Logística e Diálogo com a Comunidade.

Para cada uma destas subdivisões do programa está instaurada uma comissão técnica específica, que define seus respectivos planos de trabalho anuais para o atendimento aos requisitos do programa e melhoria dos resultados.

Esta seção tem por objetivo refletir sobre os resultados apresentados na seção anterior, baseados nos dados do Relatório de Desempenho dos Indicadores do Atuação Responsável® ano base 2021.

A FIGURA 3 demonstra a evolução da produção da indústria química brasileira nas últimas décadas, é possível verificar a queda da produção a partir de 2016.

Figura 3 - Evolução de Produção da Indústria Química



Fonte: ABIQUIM (2022)

3.1 Relatório de Desempenho dos Indicadores do Programa de Atuação Responsável®

Os dados disponíveis compreendem o período de 2006 a 2021. Participaram da campanha de reporte 84 empresas, que representam 240 plantas industriais (ABIQUIM, 2022). As empresas representam as indústrias fabricantes de produtos químicos para uso industrial, dos seguintes segmentos:

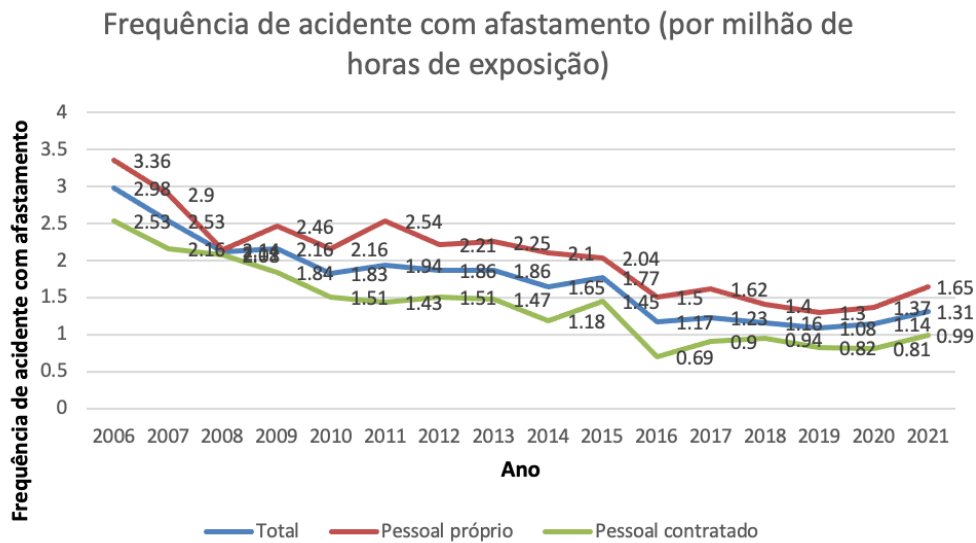
- Produtos químicos inorgânicos
- Produtos químicos orgânicos
- Resinas e elastômeros
- Produtos e preparados químicos diversos

Os resultados obtidos pelo Programa Atuação Responsável® no Brasil são publicados anualmente pelo Relatório de Desempenho dos Indicadores de Atuação Responsável®. Os dados reportados pelas associadas são calculados pela ABIQUIM na forma dos indicadores de desempenho, consideram-se dois grupos de reporte: associadas efetivas e associadas colaboradoras. O objeto deste estudo são as associadas efetivas.

Os dados disponíveis no relatório ano base 2021, apresentam a evolução histórica desde 2006. Os indicadores de desempenho estão divididos em cinco categorias: Segurança Ocupacional, Segurança de Processo, Meio Ambiente, Logística e Diálogo com a Comunidade.

As **Figuras 4 e 5** apresentam dados dos indicadores de desempenho do Programa de Atuação Responsável® (ABIQUIM, 2022).

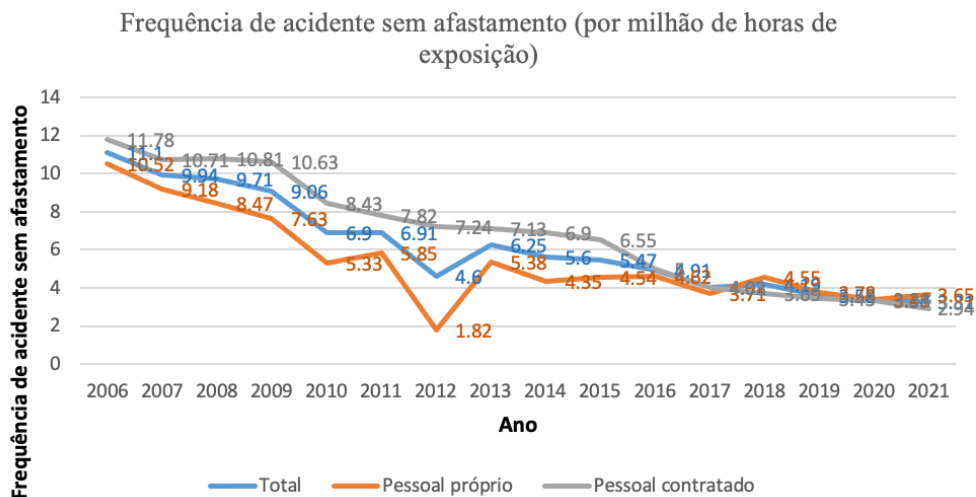
Figura 4 - Frequência de acidentes com afastamento (por milhão de horas de exposição)



Fonte: ABIQUIM (2022)

Os indicadores de Segurança Ocupacional apresentam uma tendência de queda na frequência de acidentes com e sem afastamento. Porém, é importante destacar que os resultados do ano de 2021 estão acima da linha de tendência, para ambas as categorias. A frequência destes acidentes apesar de ter sido mais alta em 2021, teve uma taxa de gravidade menor, com menos dias de afastamento.

Figura 5 - Frequência de acidentes sem afastamento (por milhão de horas de exposição)

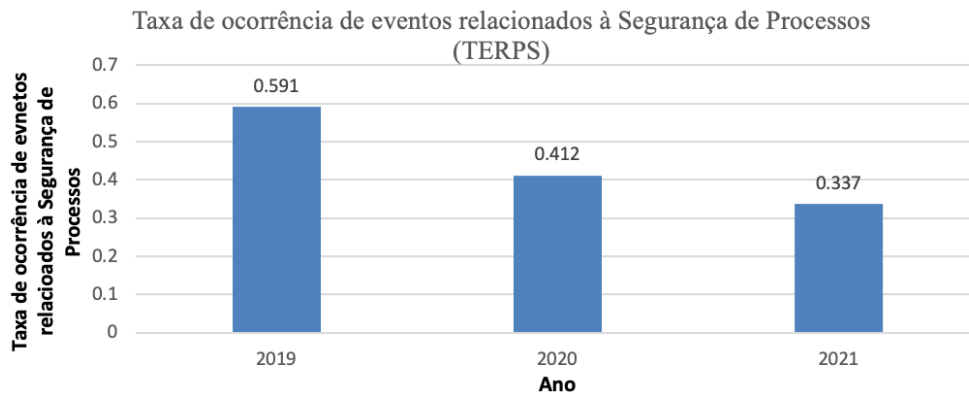


Fonte: ABIQUIM (2022)

O relatório ressalta a redução em 56% se comparado o resultado de 2006 a 2021 para acidentes com afastamento, a redução em 70% se comparado ao mesmo período para acidentes sem afastamento e a redução em 83% da gravidade dos acidentes. A redução das taxas de acidente está relacionada ao aumento do grau de conscientização com relação aos perigos da indústria, ações de capacitação, treinamentos técnicos e comportamentais, avaliações e gestão de riscos, matriz de hierarquização do risco, medidas de controle de engenharia, individuais e administrativas.

A **FIGURA 6** apresenta a Taxa de ocorrência de eventos relacionados a segurança de processos.

Figura 6 - Taxa de ocorrência de eventos relacionados à Segurança de Processos (TERPS)

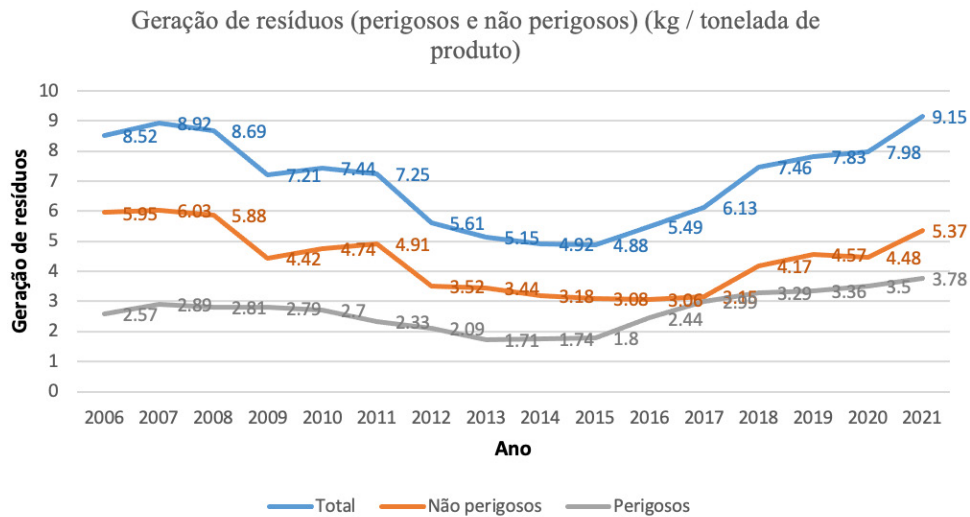


Fonte: ABIQUIM (2022)

O indicador de Segurança de Processo é mais recente com dados históricos apenas de 2019 a 2021 e correlaciona os eventos de segurança de processo com o total de horas trabalhadas. O indicador apresentou redução de 43% neste período, que ainda é muito curto para uma análise mais aprofundada sobre a tendência. Segurança de Processo ainda é um tema relativamente novo no Brasil e tem uma relação mais direta com os processos industriais contínuos.

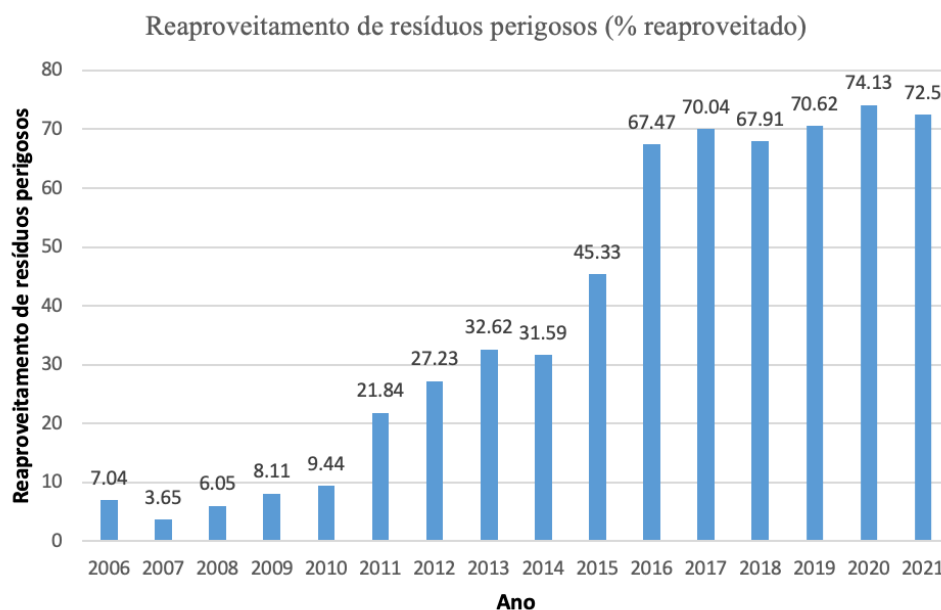
Os indicadores de Meio Ambiente abrangem várias esferas de fonte de poluição e consumo de recursos naturais: geração de resíduos, reaproveitamento de resíduos, perigosos e não perigosos, consumo de água, efluentes lançados e consumo de energia elétrica. As **Figuras 7 a 9** mostram a evolução de alguns indicadores.

Figura 7 - Geração de resíduos (perigosos e não perigosos) (kg/tonelada de produto)



Fonte: ABIQUIM (2022)

Os indicadores relacionados a resíduos precisam ser avaliados com certo critério. A geração de resíduos teve uma queda acentuada entre 2006 e 2013 e um aumento da mesma proporção entre 2014 e 2021. A justificativa para este aumento está relacionada capacidade instalada ociosa das indústrias, impactadas por questões globais como os desafios logísticos, instabilidade políticas e econômicas e até a pandemia da COVID-19. Ociosidade representa redução de produtividade, aumento de custos por tonelada, devido aos custos fixos da operação e redução da eficiência hídrica e energética, pois também a consumos que são fixos na operação, independentemente da quantidade produzida. Esta condição reflete na taxa de geração de resíduos por tonelada produzida.

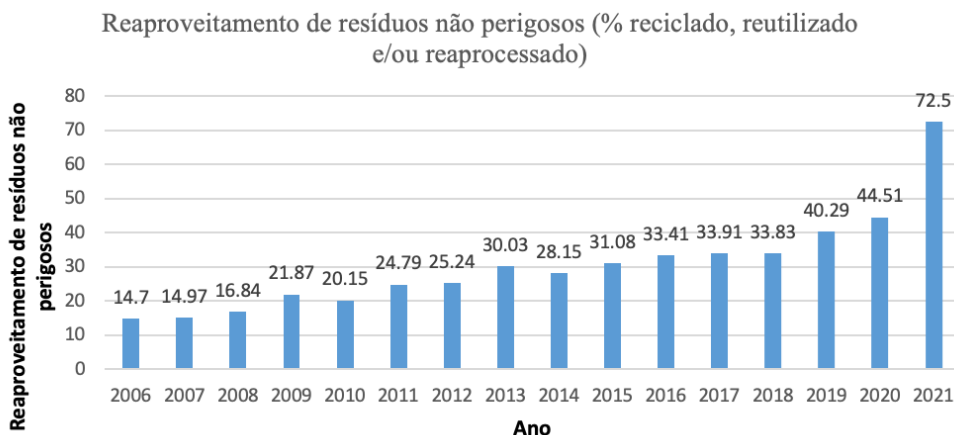
Figura 8 - Reaproveitamento de resíduos perigosos (% reaproveitado)

Fonte: ABIQUIM (2022)

A geração de resíduos perigosos e não perigosos apresenta uma tendência expressiva de aumento do reaproveitamento tanto dos resíduos perigosos quanto dos não perigosos, a partir de 2016. O reaproveitamento de resíduos inclui os processos de reutilização, recuperação, reciclagem e recuperação energética dentro ou fora da empresa.

O reaproveitamento está associado a redução do impacto de destinação ou destruição do resíduo, uma vez que ele é reincorporado a outro processo como matéria prima, insumo ou energia. Em resumo, mesmo com o aumento da geração de resíduos, há uma tendência na redução do impacto ambiental causado pelos mesmos.

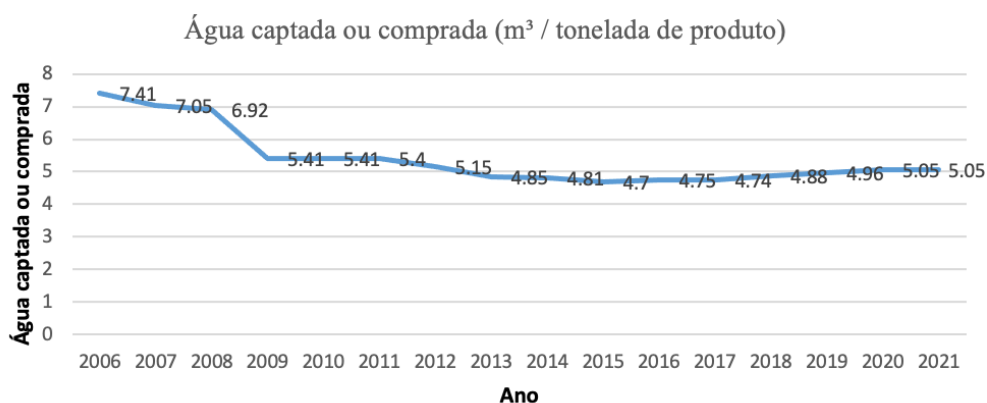
Figura 9 - Reaproveitamento de resíduos não perigosos (% reciclado, reutilizado e/ou reprocessado)



Fonte: ABIQUIM (2022)

O indicador relacionado à compra e captação de água por tonelada de produto, a tendência é de estabilização desde 2012, com uma média de consumo de 4,89 m³/ton. Isto demonstra a dificuldade em reduzir a pegada hídrica do setor. Na indústria são tantos os usos da água e não é tão simples buscar eficiência hídrica. A água pode ser utilizada para diversos fins, dentre eles: resfriamento, aquecimento, matérias primas, para interromper uma reação, limpeza e lavagens, banheiros e vestiários, consumo humano, irrigação. Estes são usos da água que não estão conectados diretamente ao processo produtivo (FIGURA 10).

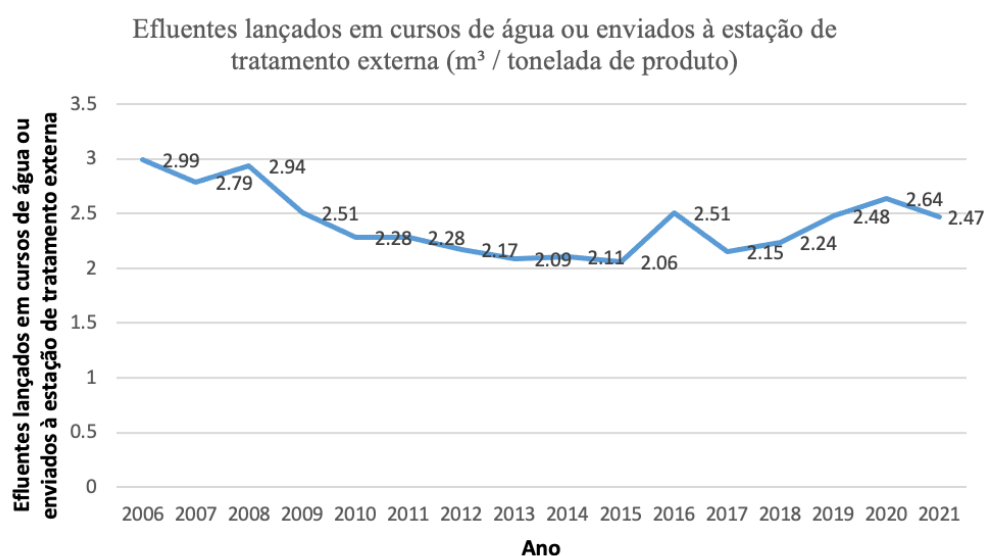
Figura 10 - Água captada ou comprada (m³/tonelada de produto)



Fonte: ABIQUIM (2022)

O indicador de efluentes lançados em cursos de água ou enviados à estação de tratamento externa por tonelada de produto tem correlação com o consumo de água. Este indicador reflete o não reaproveitamento ou reuso do efluente. Este indicador apresentava uma leve tendência de queda entre 2006 e 2015, após este período a tendência volta a subir a patamar próximo ao de 2009. Um ponto importante a destacar é a falta de regulamentação relacionada à água de reuso de estações de tratamento de efluentes industriais (**FIGURA 11**).

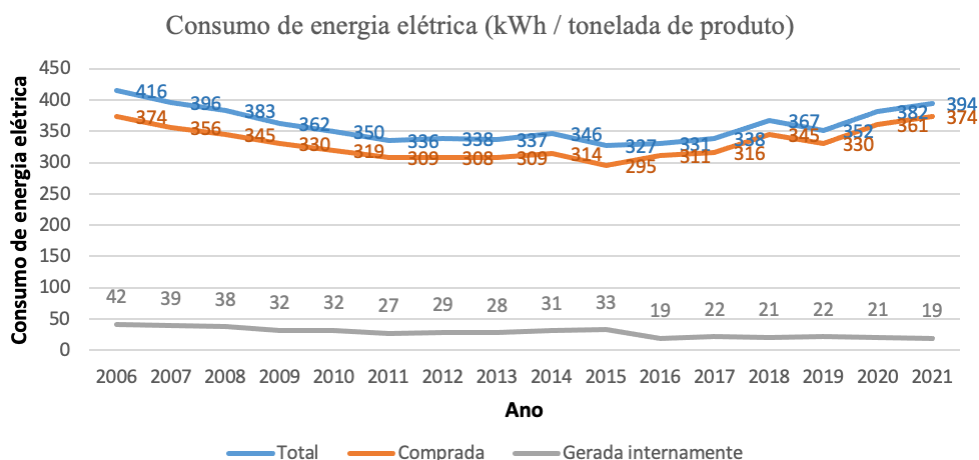
Figura 11 - Efluentes lançados em cursos de água ou enviados à estação de tratamento externa



Fonte: ABIQUIM (2022)

A mesma tendência de queda entre 2006 e 2015 e aumento após este período é percebida no consumo de energia elétrica por tonelada de produto. Processos mais automatizados consomem mais energia elétrica, assim como a disponibilidade de recursos tecnológicos. Alguns setores da indústria estão migrando a matriz energética para fontes renováveis e menos poluentes, substituindo o uso de combustíveis por equipamentos elétricos (**FIGURA 12**).

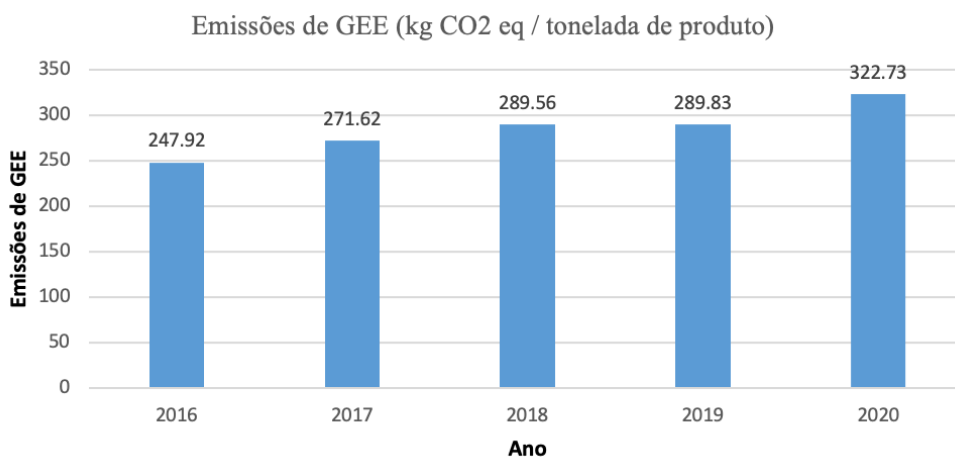
Figura 12 - Consumo de energia elétrica (kWh/tonelada de produto)



Fonte: ABIQUIM (2022)

O indicador referente às emissões de gases de efeito estufa só está disponível no período de 2016 a 2020, demonstrando uma tendência de aumento. O indicador reflete apenas as emissões de escopo 1 (emissões diretas de fontes próprias ou controladas pela organização) e neste aspecto não é possível identificar se a origem das emissões é causada pela queima de combustíveis ou pelas reações do processo produtivo. Seriam necessárias mais informações para concluir os motivos da tendência de aumento do indicador (FIGURA 13).

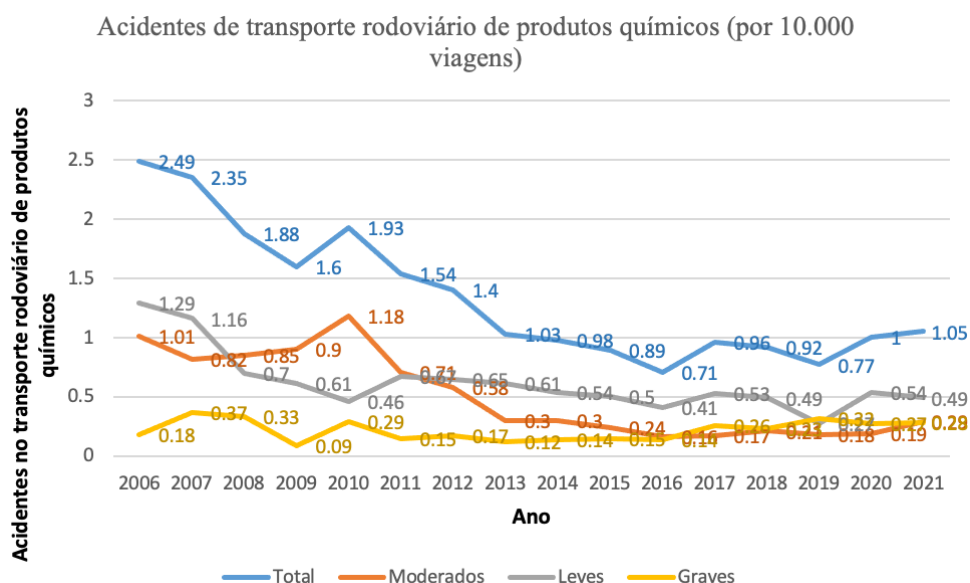
Figura 13 - Emissões de GEE (kg CO2 eq / tonelada de produto)



Fonte: ABIQUIM (2021)

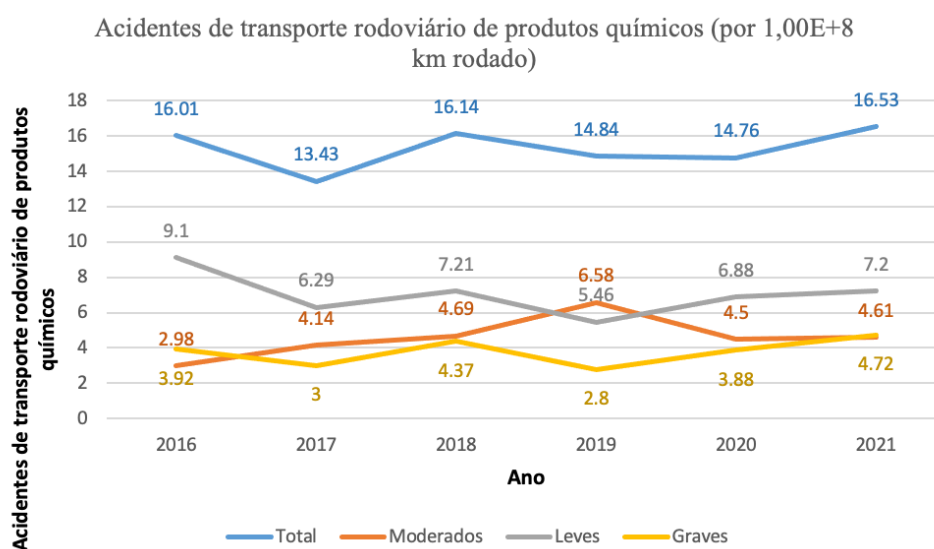
Os indicadores de logística (**FIGURA 14 e 15**) demonstram a redução significativa de 58% dos acidentes no transporte rodoviário de produtos químicos por 10.000 viagens e uma tendência estável dos acidentes de transporte rodoviário de produtos químicos por 100.000.000 km.

Figura 14 - Acidentes no transporte rodoviário de produtos químicos (por 10000 viagens)



Fonte: ABIQUIM (2022)

Figura 15 - Acidentes no transporte rodoviário de produtos químicos (por 1,00E+8 km rodado)



Fonte: ABIQUIM (2022)

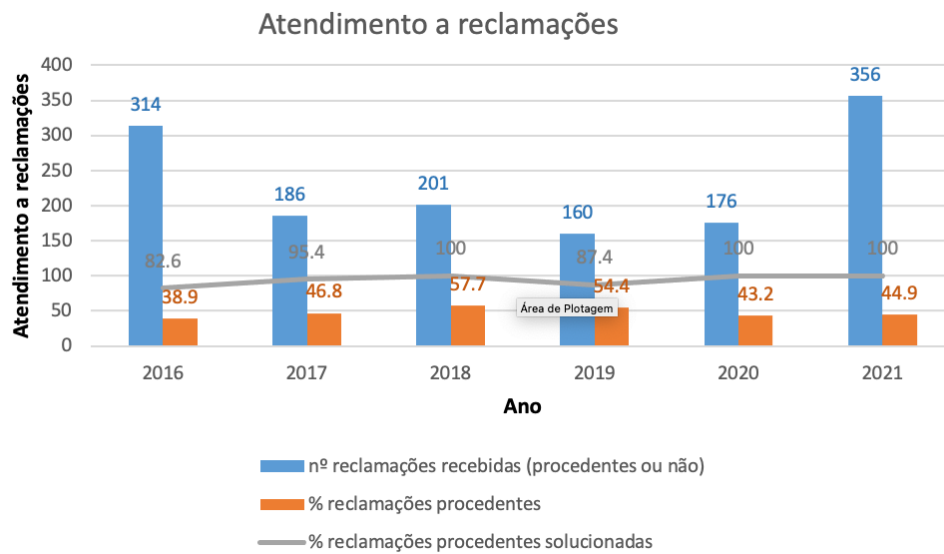
No tema relacionado à Logística há vários programas liderados pela ABIQUIM para trazer mais segurança ao transporte de produtos químicos. Dentre ele é possível destacar:

- **SASSMAQ** – Sistema de Avaliação de Saúde, Segurança, Meio Ambiente e Qualidade, certificado de qualificação de empresas fornecedoras de serviço de transporte. O Programa Atuação Responsável® determina como mandatório a contratação de empresas de transporte com esta certificação
- **Programa Olho Vivo** – programa voltado a prevenir atitudes inseguras no transporte de produtos perigosos por meio da conscientização dos motoristas, eliminando assim os acidentes com produtos químicos no transporte rodoviário.
- **Central PRÓ-QUÍMICA** - importante ponto de apoio ao Sistema de Atendimento A Emergências no Transporte Terrestre de Produtos Químicos e em ocorrências nas instalações fixas que armazenam e manuseiam produtos químicos perigosos.
- **Agenda Estratégica de Logística da Indústria Química** – elaborada pela ABIQUIM, propõe a diversificação da matriz de transporte, incentivando o modal ferroviário e o uso da cabotagem, para tornar a logística mais competitiva, segura e com menos emissão de GEE.

O indicador de Diálogo com a Comunidade reflete três pilares importantes: reclamações recebidas pela comunidade, reclamações procedentes e reclamações procedentes solucionadas, apresentados na **FIGURA 16**.

É possível perceber um aumento expressivo do recebimento de reclamações pela comunidade, porém o número de reclamações procedentes permanece o mesmo. É possível interpretar que as empresas estão se aproximando mais da comunidade de forma a intensificar o canal de comunicação entre as partes. Com a pandemia as pessoas passaram a ficar mais tempo em casa e conseguem perceber com mais clareza os incômodos ao seu redor. Hoje também os canais de comunicação são muito mais abertos e disponíveis, devido a tecnologia da informação. Em contrapartida as reclamações procedentes permanecem em um patamar estável com o resultado de 100% das reclamações procedentes solucionadas. O Programa Atuação Responsável® é muito pautado em comunicação e bom relacionamento da indústria química com suas partes interessadas, o que se busca é uma relação de confiança e equilíbrio com a comunidade.

Figura 16 - Atendimento a Reclamações



Fonte: ABIQUIM (2022)

Todos os programas que contribuem com a melhoria dos indicadores estão pautados nos seguintes requisitos indispensáveis do Sistema de Gestão do Programa Atuação Responsável® SGAR:2023, referenciados na **TABELA 1**:

Tabela 1 – Requisitos Indispensáveis SGAR:2023 que suportam os resultados dos indicadores de desempenho

Número	Requisito Indispensável
6.1.2	Determinar e controlar os aspectos e impactos ambientais, e os perigos e riscos de saúde e segurança. (INDISPENSÁVEL);
6.1.3	Estabelecer, implementar e manter procedimentos para atender aos requisitos legais aplicáveis e a outros requisitos voluntários subscritos. (INDISPENSÁVEL);
6.1.4	Plano de ação (INDISPENSÁVEL);
6.2.2	Estabelecer e implementar ações relacionadas às questões de saúde e segurança (ocupacional, processo, logística), ao meio ambiente, ao gerenciamento de produto e a proteção empresarial. (INDISPENSÁVEL);
7.2.2	Estabelecer, implementar e manter os procedimentos para avaliar o desempenho das pessoas. (INDISPENSÁVEL);
8.1.1	Estabelecer, implementar, manter e acompanhar controles operacionais da empresa e os controles de processos principalmente decorrentes dos impactos e riscos identificados. (INDISPENSÁVEL);
8.1.4	Estabelecer, implementar, manter e acompanhar os procedimentos que consideram as questões de saúde, segurança e meio ambiente na contratação de fornecedores e prestadores de serviços. (INDISPENSÁVEL);
8.2.1	Estabelecer, implementar e exercitar os planos para resposta a emergências. (INDISPENSÁVEL);
9.1.2	Atendimento aos requisitos legais aplicáveis e outros requisitos. (INDISPENSÁVEL);
9.1.3	Estabelecer, implementar, manter e acompanhar procedimentos para o monitoramento dos impactos e riscos. (INDISPENSÁVEL);
9.2	Auditorias Internas (INDISPENSÁVEL);
9.3	Análise Crítica pela Direção (INDISPENSÁVEL);
10.2	Incidentes, Não Conformidades e Ações Corretivas (INDISPENSÁVEL)
10.3	Melhoria Contínua (INDISPENSÁVEL).

Fonte: elaborado pela autora

4 Conclusões

Estabelecido em 1992, o Programa Atuação Responsável® é marca registrada da ABIQUIM no Brasil, com base no Programa Responsible Care®, que foi lançado no Canadá em 1985, é praticado em mais de 70 países, figurados entre os maiores produtores químicos do mundo.

O Programa Atuação Responsável® passou por revisões ao longo dos anos, e possui, desde 2012, um Sistema de Gestão certificável. O Programa é aplicável a qualquer empresa, independentemente do seu tamanho, tipo de produto e origem de capital, tendo a vantagem de conter, em apenas uma norma, os temas relacionados a saúde e segurança (ocupacional, processo, logística), ao meio ambiente, ao gerenciamento de produto e a proteção empresarial, considerando processos, produtos, instalações e serviços.

O Programa Atuação Responsável® é uma estratégia bem-sucedida não apenas para a indústria química, mas também para seus fornecedores e clientes, com benefícios efetivos e concretos para toda a sociedade.

Esses resultados podem ser observados por meio da evolução de indicadores, elaborados e divulgados pela ABIQUIM, com base em informações consolidadas de seus associados, o que possibilita a demonstração do desempenho da indústria química e também de prestadores de serviços ao setor na área de logística. Os Indicadores de Desempenho do Atuação Responsável® representam uma ferramenta importante para a gestão e reporte às partes interessadas, propiciando mecanismo transparente de comunicação com as diversas partes interessadas.

Os resultados dos indicadores indicam uma leve estagnação ou regressão a partir de 2016, bem como a redução da produção da indústria química brasileira que diminuiu a produtividade uma vez que as plantas passam a operar com capacidade ociosa ou lotes menores.

O grande desafio é justamente buscar soluções de eficiência hídrica e energética aos processos, bem como a redução de desperdícios e geração de rejeitos. Mesmo com indicadores indexados pela produção, a redução do consumo não é necessariamente linear à produção, por exemplo, há diversos processos de utilidades que consomem água para geração de vapor e refrigeração.

5 Referências

ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. **Guia dos Indicadores de Desempenho do Programa AR**. 2022. Disponível em <https://abiquim.org.br/programas/indicadoresManuais>. Acesso em: 06 maio 2023.

ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. **Relatório de Desempenho dos Indicadores do Atuação Responsável® ano base 2021**. 2022. Disponível em <https://abiquim.org.br/programas/indicadoresManuais>. Acesso em: 06 maio 2023.

BORELLI, Elizabeth. Sustentabilidade e riscos ambientais na indústria química. **Anais do IX Ciclo de Debates**, 2011.

DEMAJOROVIC, J.; SANCHES, C. S. Aprendizado e indicadores ambientais: perspectivas para as organizações. **Anais do XXII Encontro Nacional dos Programas de Pós-graduação em Administração – ENANPAD**, Foz do Iguaçu, 1999.

FREITAS, C. M. de *et al.* Acidentes químicos ampliados: um desafio para a saúde pública. **Revista de Saúde Pública**, v. 29, p. 503-514, 1995.

POTT, Crisla Maciel; ESTRELA, Carina Costa. **Histórico ambiental**: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. *Estudos avançados*, v. 31, p. 271-283, 2017.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso: Planejamento e métodos**. Bookman editora, 2015.

10.29327/2152495.8.26-2



Artigo Técnico

Estimativa do efeito da fluência de materiais resilientes no desempenho ao ruído de impacto em contrapisos flutuantes.

Estimation of the creep effect of resilient materials on impact noise performance in floating subfloors.

Henrique Lima Pires^{be*}, Marcelo de Mello Aquilino^{ade}, Maria Akutsu^{adf}.

^a Laboratório de Conforto Ambiental, Eficiência Energética e Instalações Prediais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

^b Fundação de Apoio ao IPT, São Paulo-SP, Brasil.

^d Docente do Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia.

^e Mestre em Habitação: Planejamento e Tecnologia.

^f Doutora em Arquitetura e Urbanismo.

*e-mail:
henriquelpires@gmail.com.

Palavras-chave: deformação; fluência; ao longo do tempo; ruído de impacto; contrapiso flutuante; materiais resilientes; frequência de ressonância; compressibilidade; edificações habitacionais.

Keywords: deformation; over time; impact noise; floating subfloor; resilient materials; resonant frequency; compressibility; residential buildings.

Resumo

Uma das soluções mais eficazes para atenuar o ruído de impacto de piso em edificações habitacionais é o sistema de contrapiso flutuante, no qual o contrapiso é separado da laje por uma camada de material resiliente. No entanto estes materiais podem ter seu desempenho afetado pela deformação plástica ao longo do tempo devido à tensão, abaixo do limite de escoamento, causada pelos carregamentos aos quais são submetidos. Esta deformação é conhecida como fluência. O objetivo deste trabalho é avaliar o efeito da deformação causada pela compressão devido a cargas permanentes e acidentais no desempenho de materiais resilientes utilizados em contrapisos flutuantes em relação ao ruído de impacto, pelo método da determinação da rigidez dinâmica. Foi utilizado um método estimativo de cálculo a partir da frequência de ressonância e da deformação de diversos produtos para se obter uma estimativa para após dez anos sob carga. Foram estudados quatorze produtos. Os resultados mostram que somente três produtos, que são de lã de rocha, tiveram efeitos significativos de perda de desempenho.

Abstract

One of the most effective solutions to attenuate floor impact noise in residential buildings is the floating subfloor system, where the subfloor is separated from the slab by a layer of resilient material. However, these materials can have their performance affected by plastic deformation over time due to the stress, below the yield point, caused by the loads to which they are subjected. This deformation is known as creep. The objective of this work is to evaluate the effect of deformation caused by compression due to permanent and accidental loads on the performance of resilient materials used in floating subfloors in relation to impact noise, using the dynamic stiffness determination method. An estimation method was used for calculating the resonance frequency and deformation of several products to obtain a projection for ten years under compression. Fourteen products were studied. The results show that only three products had significant performance loss effects.

1 Introdução

Um som desagradável ou indesejado, que se propaga pelo ar ou por meio das estruturas de edificações, é considerado como sendo um ruído e está diretamente associado à deterioração da qualidade de vida dos habitantes. Ruídos podem ser considerados como poluição sonora, podendo prejudicar a saúde física e mental das pessoas. Além da poluição sonora originada nos entornos das edificações, também é importante atentar-se à geração interna de ruído. Por estes motivos, o tratamento acústico nos ambientes de longa permanência de pessoas deve apresentar desempenho adequado, conforme normalização técnica e regulamentações.

Uma das formas de propagação de ruído mais difíceis de serem controladas é a transmissão de vibrações pela estrutura dos edifícios, geralmente decorrentes de impactos no piso. Essa forma de transmissão é originada por impulsos mecânicos agindo diretamente sobre o piso de um pavimento e assim causando vibrações mecânicas que se propagam por todo o sistema a este conectado, resultando na geração de campos sonoros em outros ambientes.

No Brasil, a regulamentação para esse assunto é feita por meio da norma ABNT NBR 15575 (ABNT, 2021) que determina as exigências de desempenho em edifícios habitacionais, estabelecendo níveis mínimos máximos para o nível de pressão sonora produzido por impacto em pisos, conforme os tipos de ambiente.

Para atingir os níveis exigidos pela norma, é necessário reduzir a propagação das vibrações produzidas pelos impactos. Para isso uma das formas consiste em desassociar do restante do sistema laje-paredes a camada de piso que sofre o impacto. O método mais utilizado é o sistema de contrapiso flutuante, em que mantas de materiais resilientes são colocadas entre a camada do contrapiso e a laje. A baixa rigidez dinâmica destes materiais permite que uma parte considerável da energia mecânica causada por impactos seja absorvida e dissipada, impedindo que seja transferida aos outros elementos.

Diversos materiais resilientes estão disponíveis no mercado, tais como: lãs minerais e sintéticas, feltros, poliuretano, outros compostos poliméricos e alguns materiais reciclados, feitos com resíduos de pneus, madeira e cortiça.

Uma das limitações para a avaliação da efetividade destas soluções está nos procedimentos utilizados até o momento para a análise do desempenho acústico de sistemas de pisos, que geralmente é feita *in situ*. Caso os níveis desejados não

sejam atendidos, a adoção de soluções após a conclusão da obra torna-se onerosa e muitas vezes impraticável. Neste sentido, é desejável que o desempenho do sistema seja previsto antes da sua instalação. Para isso, é importante conhecer previamente o potencial de perda das propriedades de atenuação dos ruídos de impacto proporcionado pelos materiais resilientes quando aplicados aos sistemas de piso, ao longo do tempo e conforme as cargas suportadas.

A rigidez dinâmica é uma propriedade determinante para o desempenho dos materiais resilientes em contrapisos flutuantes. Algumas pesquisas mostram que esses materiais podem sofrer fluência devido às cargas do contrapiso e cargas acidentais às quais eles são submetidos (SCHIAVI *et al.*, 2007; KIM *et al.* 2015). Fluência é a deformação plástica de materiais que estão submetidos a uma carga abaixo do limite de escoamento, em função do tempo, como por exemplo a tensão provocada por um contrapiso e cargas acidentais.

Tal fator pode alterar propriedades mecânicas destes materiais, inclusive sua rigidez dinâmica. Isto ocorre porque a compressão dos materiais resilientes tende a aumentar a sua rigidez dinâmica e, conseqüentemente, diminuindo a sua capacidade de atenuação das vibrações causadas por impacto.

O desempenho de sistemas de pisos flutuantes é um tema de ampla divulgação, porém mais recentemente surgiu a preocupação com a duração do desempenho destes sistemas, devido aos materiais que sofrem fluência. Dessa forma, alguns trabalhos têm sido desenvolvidos buscando métodos para se avaliar o desempenho desses materiais ao longo do tempo, como o método da determinação da fluência e o método da determinação da compressibilidade.

Entretanto, existem ainda poucos resultados de estudos realizados de modo a que se tenham disponíveis dados que possibilitem a previsão segura do desempenho de materiais resilientes quanto à atenuação do ruído de impacto em pisos em relação à sua deformação, após um longo período sob compressão.

Nesse contexto, este trabalho foi desenvolvido visando contribuir para a disponibilização de dados sobre o desempenho acústico para alguns materiais resilientes utilizados atualmente em sistemas de pisos flutuantes na construção civil no Brasil. Para isso foi utilizado o método estimativo proposto por Schiavi *et al.*, 2007, pelo qual foram feitas análises para verificar o quanto as deformações causadas pela compressão desses materiais podem afetar seu desempenho ao longo do tempo, em relação ao ruído de impacto.

2 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da deformação causada pela compressão devido a cargas permanentes e acidentais no desempenho de materiais resilientes utilizados em contrapisos flutuantes em relação ao ruído de impacto, pelo método da determinação da rigidez dinâmica.

3 Procedimento metodológico

Schiavi *et al.* (2007) propõem um método para estimativa do desempenho de materiais resilientes ao longo do tempo por meio da determinação da deformação instantânea descrita na norma ISO 29770 (2008). Os autores propõem a Equação 1 para estimar a frequência de ressonância para após 10 anos de fluência, $f_{r,B'}$ e a Equação 2 para estimar a rigidez dinâmica para após 10 anos de fluência s'_{10} .

$$f_{r,B} = \frac{1}{\sqrt{d_B/d_F}} f_{r,F} \text{ (Hz)} \quad (1)$$

$$s'_{10} = (f_{r,B} \cdot 2\pi)^2 \cdot m'_t \text{ (MN/m}^3\text{)} \quad (2)$$

Onde:

$f_{r,B}$ é a frequência de ressonância da amostra após aplicação de 2 kPa de tensão [Hz];
 d_F é a espessura da amostra após 2 min sob aplicação de tensão de 2 kPa [mm]
 d_B é a espessura da amostra após 2 min sob aplicação de tensão adicional de 48 kPa e 2 a 5 min da remoção da tensão [mm];
 m'_t é a massa aparente por unidade de área total durante o teste [kg/m²].

Por meio do método proposto por Schiavi *et al.* (2007), foi feita a investigação experimental submetendo corpos de prova de materiais resilientes ao ensaio de determinação da compressibilidade conforme a norma ISO 29770 (ISO, 2008) e aos ensaios de determinação da rigidez dinâmica conforme a norma ISO 9052-1 (ISO, 1989), no Laboratório de Conforto Ambiental, Eficiência Energética e Sustentabilidade (LCAP) do IPT. Com os resultados obtidos, foram feitos os cálculos estimativos da redução do nível de pressão sonora proporcionada por cada material, antes e após a deformação causada pela fluência por 10 anos.

3.1 Produtos estudados

Foram estudados 14 produtos, selecionados levando em conta sua disponibilidade no mercado nacional, os quais foram doados por fornecedores/fabricantes, na condição de se manter confidencialidade de marcas. As amostras retiradas dos produtos foram submetidas a secagem em estufa por 24h a 50 °C e posteriormente foram feitas determinações de dimensões, massas e cálculo das massas específicas aparentes dos materiais. Estes dados, bem como a informação se o material possui células abertas ou fechadas, são apresentados na **TABELA 1**. Na **FIGURA 1** são apresentadas fotografias dos produtos conforme sua ordem apresentada na **TABELA 1**.

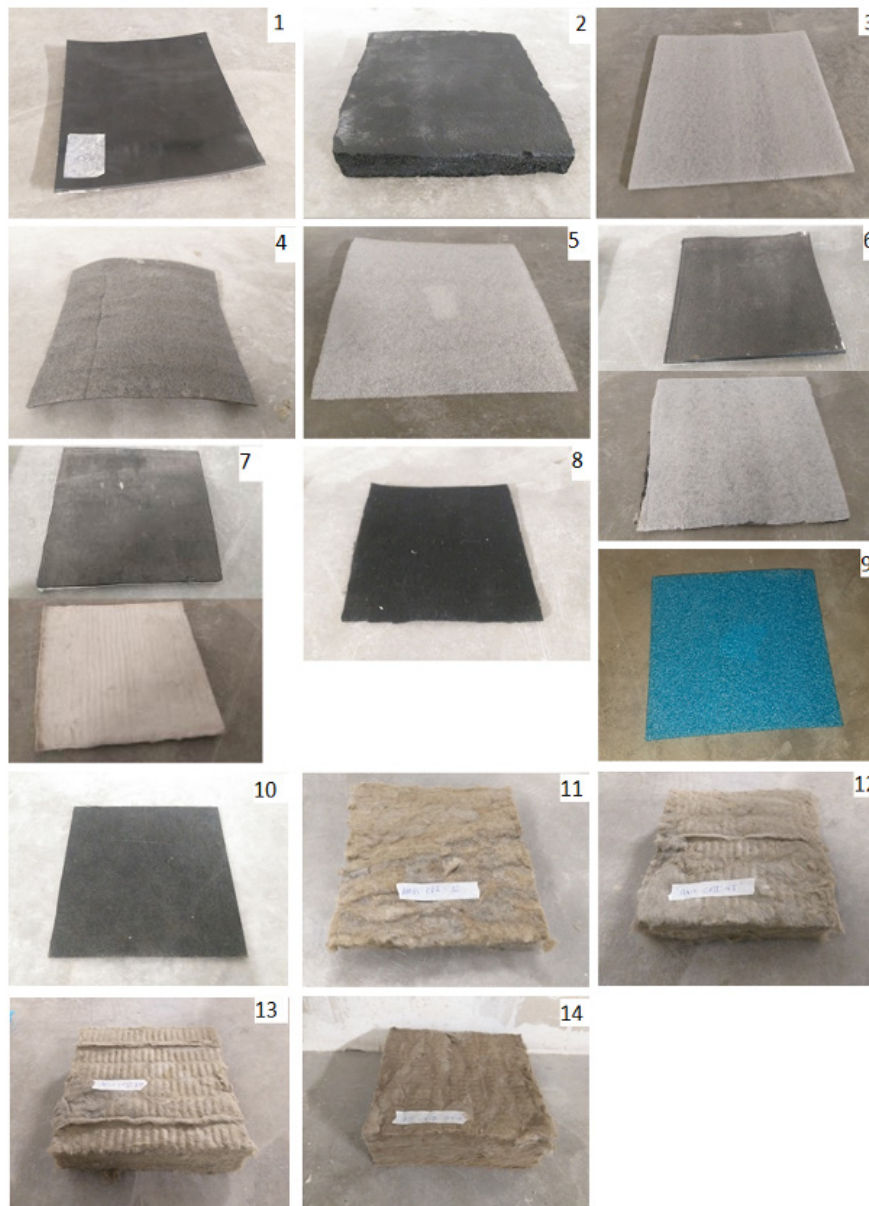
De cada amostra foram extraídos três corpos de prova quadrados com aresta de 200 mm, totalizando quarenta e dois corpos de prova.

Tabela 1 - Descrição dos produtos utilizados nos ensaios.

Am.	Descrição	Espessura (mm)	Células	Massa específica aparente (kg/m ²)
1	Espuma de EVA com capa plástica	5,1	Fechadas	1,90
2	Espuma de compósito polimérico*	33,0	Fechadas	1,47
3	EPE na cor cinza claro	4,9	Fechadas	1,67
4	EPE na cor preta	4,6	Fechadas	1,56
5	EPE na cor branca	5,0	Fechadas	1,03
6	Manta asfáltica com EPE no verso	8,1	Fechadas/Fechadas	6,53
7	Manta asfáltica com manta de lã de PET no verso	9,2	Fechadas/ Abertas	7,01
8	Manta de lã de PET	6,1	Abertas	0,64
9	EPE na cor azul	5,2	Fechadas	1,38
10	Painel de lã de PET rígido	5,1	Abertas	1,54
11	Painel de lã de rocha 32	48	Abertas	1,68
12	Painel de lã de rocha 48	52	Abertas	2,49
13	Painel de lã de rocha 80	59	Abertas	4,71
14	Painel de lã de rocha 144	64	Abertas	9,06
*Não foi possível caracterizar a composição química do material				

Fonte: elaborado pelos autores

Figura 1 – Fotos de amostras dos produtos utilizados



Fonte: elaborado pelos autores

3.2 Ferramentas e softwares

Na TABELA 2 são apresentados dados sobre as ferramentas e softwares utilizados para execução das medições, suas respectivas funções para este trabalho e a letra de referência de cada equipamento, adotada para indicar o equipamento utilizado em cada etapa do método.

Tabela 2 - Ferramentas e softwares utilizados.

Letra	Descrição	Modelo	Função
"a"	Estufa de secagem com capacidade de 0 °C a 100 °C	Retilínea Fanem	Secagem das amostras
"b"	Balança digital de bancada com capacidade de 8000 g resolução de 0,1 g	BG 8000 Gehara	Medir massas das amostras
"c"	Paquímetro digital com capacidade de 150 mm e resolução de 0,01 mm	DC-60 Western	Medir dimensões dos materiais
"d"	Martelo de impacto com ponta plástica	TYPE 8206 Brüel & Kjær	Excitar o sistema de acordo com a norma ISO 7626-5 (2019)
"e"	Controlador de temperatura e umidade relativa ambiental com capacidade de -0 a 60 °C (resolução de 0,1 °C) e 20% a 85% (resolução de 0,1 %)	Full Gauge Controlers	Controlar a temperatura e umidade relativa da sala de condicionamento dos materiais
"f"	Acelerômetro triaxial com capacidade de 1-11k Hz (x), 1-9k Hz (y), 1-18k Hz (z)	Triaxial DeltaTron® Accelerometer Type 4504 A - Brüel & Kjær	Acoplada à placa de carga, medir a aceleração causada pela excitação e transmiti-la em forma de sinal elétrico para o aquisitor de dados
"g"	Aquisitor de dados	BZ-7848-A LAN-XI NOTAR - Brüel & Kjær	Ler os sinais elétricos e reportá-los ao software analisador
"h"	Software analisador de dados	PULSE LabShop v. 17.1.1 - Brüel & Kjær	Analisar os sinais reportados relacionando-os entre si e traduzi-los em gráficos
"i"	Prensa hidráulica motorizada analógica com resolução mínima de 200 g e limite de carga de 2500 kg	Tinus-Olsen Testing Machine	Aplicar as tensões sobre os materiais
"j"	Relógio comparador digital (4 unidades) com resolução de 0,01 mm e capacidade de 25,4 mm acoplados a bases magnéticas	ID-U1025 Mitutoyo Corp.	Medir o deslocamento da placa de carga da prensa hidráulica durante as aplicações das tensões sobre os materiais
"k"	Paquímetro digital com capacidade de 150 mm e resolução de 0,01 mm	Mitutoyo ABSOLUTE digimatic	Medir o deslocamento da placa de carga da prensa hidráulica durante as aplicações das tensões sobre os materiais com deslocamentos acima de 25 mm.
"l"	Paquímetro de Profundidade digital com capacidade de 150 mm e resolução de 0,01 mm	Mitutoyo ABSOLUTE digimatic - 571- 201-30	Medir o deslocamento da placa de carga da prensa hidráulica durante as aplicações das tensões sobre os materiais com deslocamentos acima de 25 mm.
"m"	Placa de aço com espessura de 25,4 mm e massa de 7,8 kg	-	Ponte de transmissão de vibrações da excitação e da resposta para medições das frequências de ressonância
"n"	Software Microsoft Excel	2010	Tabulações, cálculos e análise de dados

Fonte: elaborado pelos autores

3.3 Medições das frequências de ressonância ($f_{r,F}$) e cálculos das rigidezes dinâmicas (s'), frequências de ressonância *in situ* (f_0) e estimativa das reduções do nível de pressão sonora (ΔL , ΔL_w)

As medições das frequências de ressonância $f_{r,F}$ foram realizadas conforme a norma ISO 9052-1 (ISO, 1989). Esta norma dispõe de três métodos de excitação: método de excitação de sinais de pulso conforme norma ISO 7626-5 (ISO, 2019), varredura senoidal e ruído branco, conforme norma ISO 7626-2 (ISO, 2015).

Foi utilizado neste trabalho somente o método de sinais de pulso utilizando o martelo de impacto “d” e o acelerômetro triaxial “f”, ambos conectados ao aquisitor de dados “g”. Como base foi utilizado o próprio piso de concreto do laboratório.

A força do impacto do martelo é medida por um transdutor de força incorporado no martelo, acionando o “trigger” para que o acelerômetro meça a resposta do sistema.

O *software* “h” foi configurado para fazer uma média de cinco impactações seguidas, correlacionar a excitação com a resposta recebida em aceleração calculando o FFT (*Fast Fourier Transform*), convertendo estas informações em amplitude (dB) x frequência (Hz) em uma faixa de frequência de interesse entre 0 e 400 Hz. Do espectro gerado após a medição é possível observar no pico da amplitude a frequência de ressonância.

O *software* também foi configurado para calcular a função da coerência das médias das medições para validar as medições.

Nesta etapa foram deixados de atender alguns requisitos da norma ISO 9052-1 (ISO, 1989), a saber: uso de vaselina nas laterais dos materiais com células fechadas, pois não foram percebidas diferenças nos resultados com e sem aplicação de vaselina; a aplicação de uma camada de gesso entre a placa de carga e os materiais resilientes, pois o gesso tem a função de regularizar a superfície de materiais com faces com relevos, o que não é o caso das amostras utilizadas neste trabalho.

Com as frequências $f_{r,F}$ foram calculadas as rigidezes dinâmicas aparentes por unidade de área das amostras (s'), frequências de ressonância *in situ* (f_0), reduções do nível de pressão sonora de impacto padronizado (ΔL) e médias ponderadas da redução do nível de pressão sonora de impacto padronizado (ΔL_w) conforme as normas ISO 9052-

1 (ISO, 1989) e ISO 12354-2 (ISO, 2017). Para a massa aparente do sistema (m'), foi adotado o valor de 100 kg/m².

3.4 Medição das deformações das amostras

As amostras foram condicionadas em sala climatizada a temperatura média do ar de 25 °C e 68% de umidade relativa por 6h ou mais baseando-se na norma ISO 29770 (ISO, 2008).

Foram submetidas a compressões por meio da prensa hidráulica “k” com controle manual.

A prensa possuía uma placa de carga e uma de base com lados medindo 200 mm x 200 mm. Sobre a placa de carga foram dispostos quatro relógios comparadores “l”, sendo um em cada quina. No caso de materiais com deformações maiores que 25,4 mm que ultrapassariam a capacidade dos relógios comparadores, utilizaram-se os paquímetros “m” e “n” sobre dois cantos diagonais da placa de carga. Coletaram-se as medições das espessuras dos corpos de prova após 2 min sob aplicação de tensão de 250 Pa (d_l), após 2 min sob aplicação de tensão de 2 kPa (d_l), após 2 min sob aplicação de tensão adicional de 48 kPa e 2 a 5 min da remoção dessa tensão adicional (d_b) conforme norma ISO 29770 (ISO, 2008).

3.5 Cálculos estimativos para após 10 anos

Foram realizados os cálculos estimativos conforme o método proposto por Schiavi *et al.* (2007) das frequências de ressonância ($f_{r,B}$), das rigidezes dinâmicas aparentes ($s'_{t,10}$), frequências de ressonância dos sistemas de piso in situ ($f_{0,10}$), reduções do nível de pressão sonora de impacto padronizado ($\Delta L_{10,s't}$) e médias ponderadas da redução do nível de pressão sonora de impacto padronizado ($\Delta L_{w,10}$), todos para após deformação por 10 anos sob fluência.

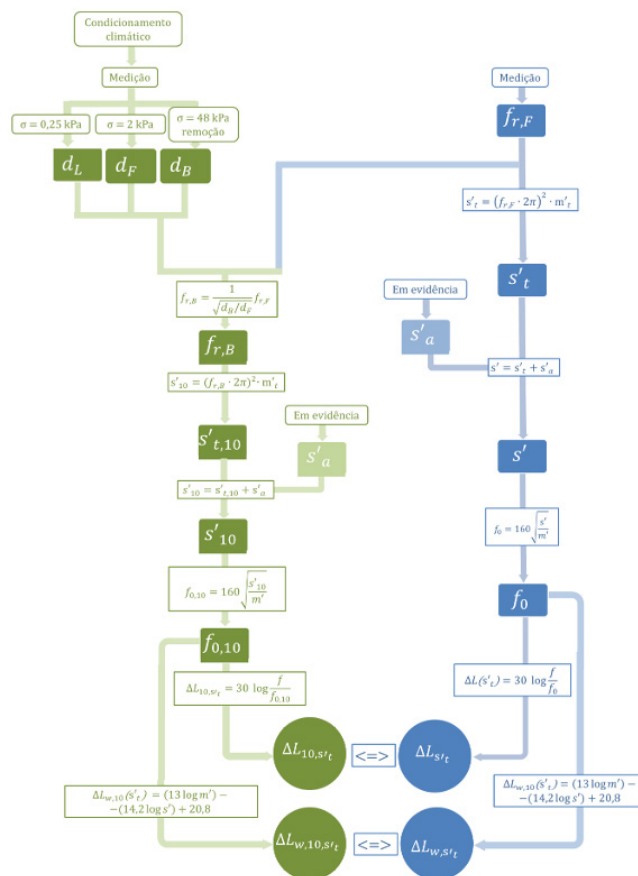
No presente trabalho não foram calculadas as rigidezes dinâmicas dos gases enclausurados (s'_a) por falta de acesso ao equipamento que faz a medição da resistividade ao fluxo de ar (r) deixando assim de atender este requisito da norma ISO 9052-1 (ISO, 1989). Portanto as rigidezes dinâmicas medidas e estimadas e os valores de redução sonora foram calculados em função das rigidezes dinâmicas aparentes, s'_t . Desta forma, os resultados de reduções sonoras obtidos neste trabalho são apenas

paramétricos, ou seja, foram usados somente para comparações e não representam valores absolutos.

Os valores obtidos dos cálculos estimativos de redução do nível de pressão sonora a curto prazo e suas respectivas médias ponderadas ($\Delta L_{s't}$ e $\Delta L_{w,s't}$) e os valores de redução do nível de pressão sonora estimados para após 10 anos e suas respectivas médias ponderadas ($\Delta L_{10,s't}$ e $\Delta L_{w,10,s't}$) foram comparados respectivamente entre si para analisar o efeito da deformação dos materiais no desempenho quanto à redução do ruído de impacto.

Na FIGURA 2 é apresentado um fluxograma resumindo o processo experimental e de cálculos.

Figura 2 - Fluxograma do processo metodológico para realização dos experimentos e cálculos.



Fonte: elaborado pelos autores

4 Resultados e discussão

Nesta seção são apresentados os resultados das medições das frequências de ressonância, cálculos das rigidezes dinâmicas, estimativa das reduções sonoras ao ruído de impacto inicial, das deformações e cálculos estimativos das reduções sonoras projetadas para após 10 anos.

4.1 Medições das frequências de ressonância $f_{r,F}$

Os resultados médios das medições das frequências de ressonância $f_{r,F}$ obtidas estão apresentados na **TABELA 3** e de forma gráfica na **FIGURA 3**.

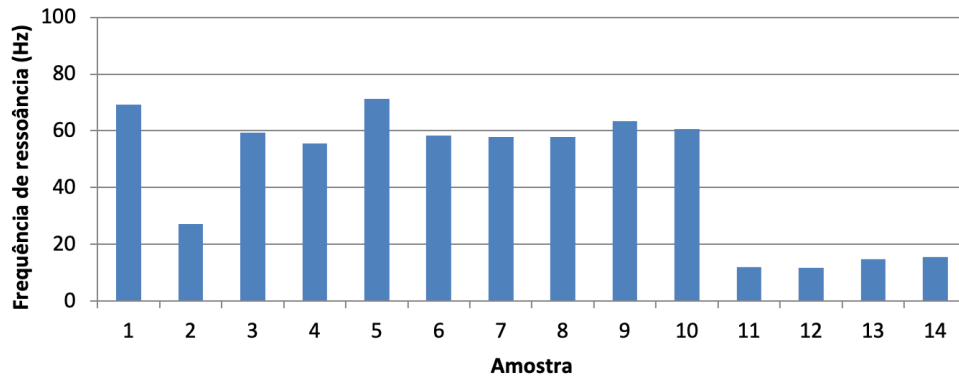
Verificou-se coerência nos resultados obtidos (entre 0,9 e 1) nas medições. Por serem coerentes, os resultados são considerados válidos.

Tabela 3 - Resultados das frequências de ressonância medidas.

Amostra	$f_{r,F}$ (Hz)
1	69,2
2	27,2
3	59,3
4	55,7
5	71,2
6	58,3
7	57,8
8	57,9
9	63,4
10	60,7
11	12,0
12	11,8
13	14,7
14	15,3

Fonte: elaborado pelos autores

Figura 2 - Fluxograma do processo metodológico para realização dos experimentos e cálculos.



Fonte: elaborado pelos autores

4.2 Medição das espessuras das amostras durante ensaio de compressibilidade e dos cálculos das deformações e compressibilidade dos materiais

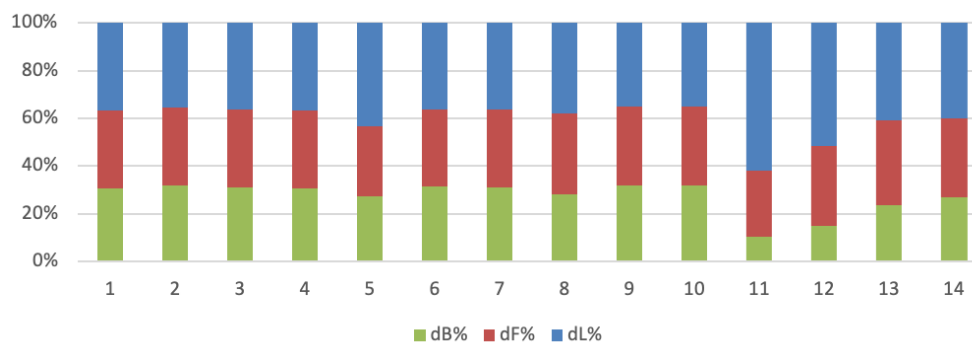
Os resultados médios das medições das espessuras durante o ensaio de compressibilidade, cálculo das deformações das amostras e a compressibilidade em porcentual para cada amostra são apresentados na **TABELA 4**. São apresentadas também as relações em porcentual das espessuras d_f e d_b , respectivamente, com a espessura d_l em %, sendo considerando $d_l=100\%$, bem como a compressibilidade c de forma gráfica na **FIGURA 4**. A compressibilidade em porcentual também está representada de forma gráfica na **FIGURA 54**. Pode-se observar que as amostras de lâ de rocha (a saber amostras 11, 12, 13 e 14) e as amostras 5 e 8 destacam-se por terem maior compressibilidade que as demais. As demais amostras possuem uma compressibilidade semelhante entre si.

Tabela 4 - Resultados médios das medições das espessuras durante o ensaio de compressibilidade e cálculo das deformações

Amostra	$f_{r,F}$ (Hz)	Espessuras (mm)			Deformações (mm)			
		d_L	d_F	d_B	d_L-d_F	d_F-d_B	c	$c\%$
1	69,2	5,00	4,51	4,19	0,49	0,31	0,81	16%
2	27,2	32,83	30,42	29,70	2,42	0,72	3,13	10%
3	59,3	4,76	4,32	4,06	0,44	0,26	0,70	15%
4	55,7	3,95	3,48	3,28	0,47	0,20	0,68	17%
5	71,2	4,79	3,22	3,00	1,57	0,22	1,79	37%
6	58,3	7,50	6,73	6,48	0,77	0,25	1,02	14%
7	57,8	8,46	7,55	7,20	0,92	0,35	1,26	15%
8	57,9	5,03	4,49	3,70	0,55	0,78	1,33	26%
9	63,4	5,10	4,83	4,62	0,27	0,21	0,48	9%
10	60,7	5,24	4,94	4,81	0,31	0,13	0,43	8%
11	12,0	43,20	19,37	7,31	23,83	12,07	35,89	83%
12	11,8	57,55	37,17	16,85	20,38	20,32	40,70	71%
13	14,7	59,82	51,80	34,66	8,03	17,14	25,16	42%
14	15,3	74,56	61,63	50,52	12,94	11,11	24,04	32%

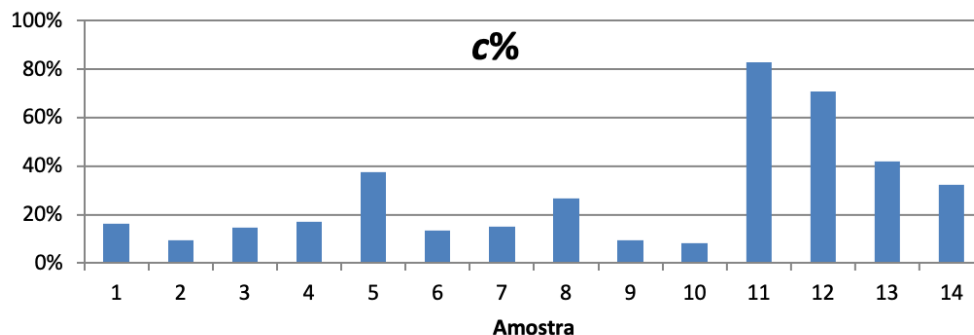
Fonte: elaborado pelos autores

Figura 4 - Relações das espessuras d_F e d_B com a d_L em %, sendo considerado $d_L=100\%$



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 5 - Compressibilidade das amostras em percentual



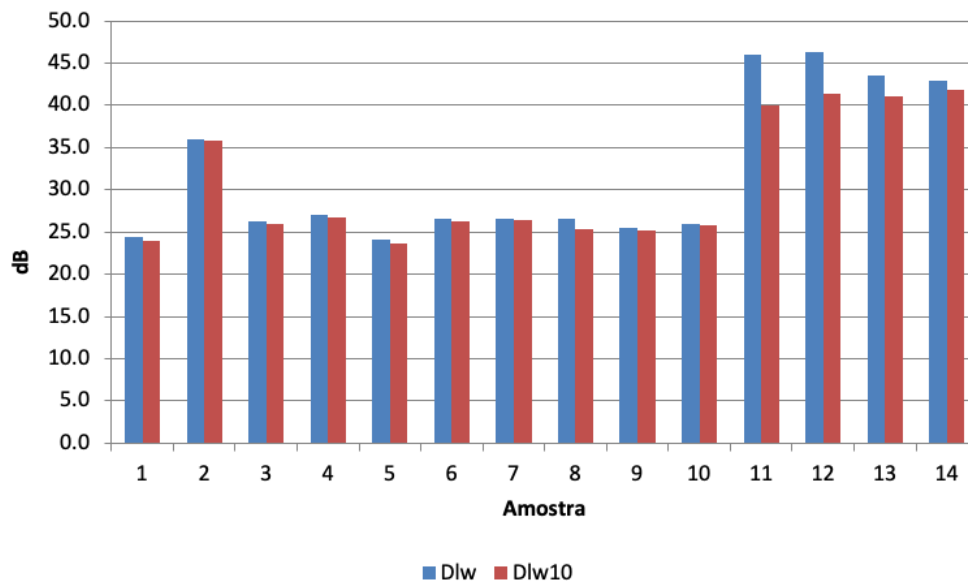
Fonte: elaborado pelos autores

4.3 Comparação entre as reduções sonoras estimadas imediatas e projetadas para após dez anos

Foram realizados os cálculos estimativos seguindo o fluxo apresentado no fluxograma da **FIGURA 2** para se obter os resultados de redução sonora a curto prazo e após 10 anos, respectivamente, $\Delta L_{w,s't}$ e $\Delta L_{w,10,s't}$. Os resultados estão apresentados na **TABELA 5** e também de forma gráfica na **FIGURA 6**.

Considerando o método proposto por Schiavi *et al.* (2007), os resultados estimativos nas condições propostas mostram que para as amostras de 1 a 10 e 14, o efeito da deformação é baixo, sendo o maior dos efeitos para a amostra 8 para a qual a diferença entre ΔL_w e $\Delta L_{w,10}$ é de 1,2 dB. Já para as amostras de lã de rocha 11, 12 e 13 os efeitos são maiores, sendo 6 dB para a amostra 11, 4,9 dB para a amostra 12 e 2,5 para a amostra 13.

Figura 6 - Gráfico comparativo das reduções sonoras imediatas estimadas e estimativa das reduções sonoras projetadas para após dez anos.



Fonte: elaborado pelos autores

Tabela 5 - Fluxo de cálculo e comparação das reduções sonoras imediatas estimadas e reduções sonoras projetadas para após dez anos.

Am	$f_{r,F}$ (Hz)	m'_t (kg/m ²)	s'_t (MN/m ³)	m'_{situ} (kg/m ²)	f_0 (Hz)	$\Delta L_{w,s't}$ (dB)	d_F (mm)	d_B (mm)	d_B/d_F	$f_{r,B}$ (Hz)	$s'_{t,10}$ (MN/m ³)	$f_{0,10}$ (Hz)	$\Delta L_{w,10,s't}$ (dB)	$\Delta L_{w,s't} - \Delta L_{w,10,s't}$ (dB)
1	69,2	198	37,4	100	97,8	24,5	4,5	4,2	0,93	71,7	40,2	101,4	24	0,4
2	27,2	198	5,8	100	38,4	36	30,4	29,7	0,98	27,5	5,9	38,9	35,8	0,1
3	59,3	198	27,5	100	83,9	26,4	4,3	4,1	0,94	61,2	29,3	86,6	26	0,4
4	55,7	198	24,2	100	78,7	27,1	3,5	3,3	0,94	57,4	25,7	81,2	26,8	0,4
5	71,2	198	39,6	100	100,7	24,1	3,2	3	0,93	73,7	42,5	104,3	23,7	0,4
6	58,3	198	26,5	100	82,4	26,6	6,7	6,5	0,96	59,3	27,5	83,9	26,4	0,2
7	57,8	198	26,1	100	81,7	26,7	7,5	7,2	0,95	59,1	27,3	83,6	26,4	0,3
8	57,9	198	26,2	100	81,9	26,7	4,5	3,7	0,83	63,8	31,8	90,2	25,5	1,2
9	63,4	198	31,4	100	89,7	25,5	4,8	4,6	0,96	64,8	32,8	91,7	25,3	0,3
10	60,7	198	28,8	100	85,8	26,1	4,9	4,8	0,97	61,4	29,5	86,9	25,9	0,2
11	12,0	198	1,1	100	17,0	46,1	19,4	7,3	0,38	19,5	3,0	27,6	40,1	6,0
12	11,8	198	1,1	100	16,6	46,3	37,2	16,9	0,45	17,5	2,4	24,7	41,5	4,9
13	14,7	198	1,7	100	20,7	43,6	51,8	34,7	0,67	17,9	2,5	25,4	41,1	2,5
14	15,3	198	1,8	100	21,7	43,0	61,6	50,5	0,82	16,9	2,2	24,0	41,8	1,2

Fonte: elaborado pelos autores

5 Conclusões

Foi feita uma avaliação do efeito quantitativo da deformação em relação ao ruído de impacto de diversos materiais resilientes conforme o método estimativo proposto por Schiavi *et al*, 2007. Os resultados obtidos por meio dos ensaios com o procedimento desenvolvido mostraram que para os 14 produtos testados, somente três tiveram efeitos significativos de perda de desempenho. Os demais produtos tiveram perdas pouco significativas. Com base nestes dados conclui-se que, para os produtos estudados neste trabalho, a maioria pode resistir aos efeitos da deformação causada pela fluência durante dez anos em seu desempenho na atenuação do ruído de impacto.

Ainda são necessárias mais avaliações com uma gama maior de produtos e utilizando outros métodos de avaliação para contribuição com o conhecimento técnico.

Salienta-se também a importância de estabelecer requisitos mínimos normativos de desempenho de sistemas de piso em relação ao ruído de impacto ao longo do tempo, pois conforme evidenciado, alguns materiais utilizados nestes sistemas podem perder sua capacidade de atenuação.

6 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-3**: Edificações habitacionais — Desempenho – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. 5 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 45 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12354-2**: Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements - Part 2: Impact sound insulation between rooms. 1 ed. Geneva: Iso Central Secretariat, 2017. 46 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7626-2**: Mechanical vibration and shock — Experimental determination of mechanical mobility — Part 2: Measurements using single-point translation excitation with an attached vibration exciter. 2 ed. Geneva: Iso Central Secretariat, 2015. 26 p

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7626-5**: Mechanical vibration and shock — Experimental determination of mechanical mobility — Part 5: Measurements using impact excitation with an exciter which is not attached to the structure. 2 ed. Geneva: Iso Central Secretariat, 2019. 28 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9052-1**: Acoustics - Determination of Dynamic Stiffness. Part 1: Materials Used under Floating Floor in Dwellings. 1 ed. Geneva: Iso Central Secretariat, 1989. 4 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 29770**: Thermal insulating products for building applications – Determination of thickness for floating-floor insulating products. 1 ed. Geneva: Iso Central Secretariat, 2008. 5 p.

KIM, Kyoung-Woo; YEON, Jun-Oh; YANG, Kwan-Seop; KIM, Myung-Jun. Influence of Loading Time of a Load Plate and Sample Size on the Measurement of Physical Properties of Resilient Materials. **Archives Of Acoustics**, [s.l.], v. 40, n. 2, p.159-167, 2015. Anual. PAN. Disponível em: <<https://doi.org/10.1515/aoa-2015-0018>>. Acesso em: 12 nov. 2018.

SCHIAVI, Alessandro; BELLI, Andre Pavoni; CORALLO, Mario; RUSSO, Francesco. Acoustical Performance Characterization of Resilient Materials Used under Floating Floors in Dwellings. **Acta Acustica United With Acustica**, Stuttgart, v. 93, p.477-485, 24 jan. 2007. Bimestral. Disponível em: <<https://www.ingentaconnect.com/contentone/dav/aaua/2007/00000093/00000003/art00016>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

10.29327/2152495.8.26-3



Artigo Técnico

Diretrizes para obtenção de fluxo de produção em obras rápidas de varejo por meio do planejamento baseado em locais.

Guidelines for Procurement Production Flow in Fast Retail Construction Through Methods Based Planning.

Victor Terrini^a, Hylton Olivieri^b, Sandra Haruma Hashizume^c.

^a Mestrado em Habitação:
Planejamento e Tecnologia
– Instituto de Pesquisas
Tecnológicas do Estado de São
Paulo., São Paulo-SP, Brasil.

^b Docente de Mestrado
Profissional em Habitação:
Planejamento e Tecnologia
– Instituto de Pesquisas
Tecnológicas do Estado de São
Paulo., São Paulo-SP, Brasil.

^c Docente Visitante do Mestrado
Profissional em Habitação:
Planejamento e Tecnologia
– Instituto de Pesquisas
Tecnológicas do Estado de São
Paulo., São Paulo-SP, Brasil.

*e-mail:
victor_terrini@hotmail.com

Palavras-chave: Fluxo de produção; Obras Rápidas; Varejo;
Takt Production; Location Based Management System.

Keywords: *Production Flow; Fast Construction; Retail;
Takt Production; Location Based Management System.*

Resumo

O segmento do varejo é caracterizado pelo alto número de estabelecimentos, composto de empreendimentos como redes de *fast food*, farmácias, agências bancárias, mercados, dentre outros comércios e serviços com a finalidade de atender ao consumidor final. O prazo de implantação e abertura desses estabelecimentos é um fator crucial, isto é, qualquer desvio no prazo de entrega das obras reflete diretamente na receita e no retorno do capital investido. Dessa forma, o prazo de execução torna-se um elemento-chave para o sucesso das empresas construtoras que atuam nesse segmento. Um tópico importante que pode efetivamente auxiliar no cumprimento dos prazos é a geração de fluxo contínuo para as equipes e para os locais, denominado como fluxo de produção. Os métodos de planejamento baseados em locais, que fazem parte da filosofia *Lean Construction*, visam proporcionar maior eficiência e produtividade aos projetos de construção civil, auxiliando na eliminação de desperdícios e na geração de fluxo. O objetivo do presente trabalho é propor diretrizes que auxiliem os profissionais atuantes em ORVs (Obras Rápidas de Varejo) a implementarem o conceito de fluxo de produção em suas obras, principalmente por meio da aplicação dos métodos de planejamento e controle baseado em locais, mais precisamente, as ferramentas *Takt Production* (TP) e *Location Based Management System* (LBMS). Como estratégia de pesquisa utilizou-se o Estudo por aplicação e como validação o painel de especialistas, tendo sido selecionadas três ORVs, no intuito de investigar a gestão de fluxo em obras deste setor.

Abstract

The retail segment is characterized by a high number of establishments, made up of enterprises such as fast food chains, pharmacies, bank branches, markets, among other businesses and services with the purpose of serving the end consumer. The deadline for implementing and opening these establishments is a crucial factor, that is, any deviation in the deadline for delivery of works directly reflects on revenue and return on invested capital. In this way, the execution time becomes a key element for the success of construction companies operating in this segment. An important topic that can effectively help meet deadlines is the generation of continuous flow for teams and locations, known as production flow. Site-based planning methods, which are part of the Lean Construction philosophy,

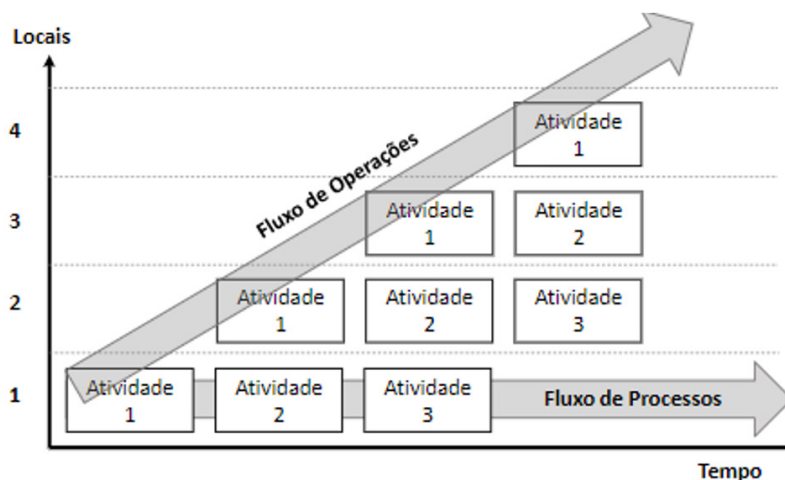
aim to provide greater efficiency and productivity to civil construction projects, helping to eliminate waste and generate flow. The objective of this work is to propose guidelines that help professionals working in ORVs (Rapid Retail Works) to implement the concept of production flow in their works, mainly through the application of location-based planning and control methods, more precisely, the Takt Production (TP) and Location Based Management System (LBMS) tools. The case study method was used as a research strategy and a panel of experts was used as validation, with three ORVs being selected in order to investigate flow management in works in this sector.

1 Introdução

O setor do varejo é caracterizado pelo alto número de estabelecimentos de pequeno porte, o que demanda das empresas construtoras um volume considerável de intervenções (SU, 2019). Pode-se afirmar que o prazo de abertura do empreendimento constitui um fator determinante para esse tipo de segmento dentro da indústria da construção civil. Logo, o elemento-chave para o sucesso das empresas construtoras que atuam nesse segmento é o prazo de execução das obras (BONASORTE, 2021).

É possível encontrar na literatura vários autores que caracterizam o setor da construção civil como uma indústria de baixa produtividade e fluxo interrupto, levando a duração das obras a prazos extensos. Desta forma, o fluxo é essencial para todos os processos de produção, e é efetivo quando materiais, produtos ou atividades percorrem o caminho rapidamente e de forma uniforme. Na construção civil, o planejamento da produção tem um papel fundamental na obtenção de uma produção bem-sucedida em termos de fluxo (KOSKELA, 1992; BALLARD, 2000). Um dos princípios da filosofia *Lean Construction* é a geração de fluxo para as atividades e equipes (KOSKELA, 2000), chamado de fluxo da produção conforme a **FIGURA 1** abaixo.

Figura 1: Fluxo de operações e Fluxo de processos



Fonte: adaptado de Shingo; Dillon (1989) e Lehtovaara et al. (2021) apud Olivieri e Granja (2021)

Nesse sentido, algumas ferramentas foram desenvolvidas a fim de facilitar o atendimento desse princípio, tais como o *Location Based Management System* (LBMS) e o *Takt Production* (TP) (LEHTOVAARA et al., 2021).

O objetivo deste trabalho é propor diretrizes que auxiliem os profissionais atuantes em ORVs a implementarem o conceito de fluxo de produção em suas obras, principalmente com o auxílio dos conceitos de planejamento e controle baseado em locais, mais precisamente, as ferramentas *Takt Production* (TP) e *Location Based Management System* (LBMS).

2 Fluxo de produção da construção civil

Fluxo pode ser entendido como a produção e movimentação de um item por vez (ou de um lote pequeno de itens) ao longo de uma série de etapas de processamento, continuamente, sendo que em cada etapa se realiza apenas o que é exigido pela etapa seguinte. Ou seja, cada processo produz apenas o que lhe é exigido pelo processo seguinte ou pelo cliente final, sem geração de estoque. O fluxo contínuo pode ser alcançado por meio de várias maneiras, desde a utilização de linhas de montagem até as células manuais, também chamado de fluxo de uma peça ou fluxo de uma peça só (LIB, 2007; ROTHER; SHOOK, 1999).

O fluxo de produção contém dois eixos diferentes, fluxo de processo e fluxo de operações, formando uma rede de fluxo (Shingo e Dillon 1989). No contexto da manufatura, o fluxo de processos refere-se à movimentação de produtos na linha de produção, e o fluxo de operações refere-se às ações realizadas em estações de trabalho individuais por operadores e equipamentos. No entanto, ao contrário da indústria transformadora, onde os produtos se movem ao longo da linha de produção e os operadores permanecem em seus postos de trabalho, na indústria da construção civil as equipes e materiais de construção movem-se pelos locais enquanto executa atividades, e o produto (por exemplo, um apartamento) permanece estacionário.

O conceito de fluxo no segmento da construção civil não se encontra bem definido. A dificuldade surge devido à distinção entre o fluxo de produtos através de uma linha de produção em uma fábrica e o fluxo das equipes por meio de um canteiro de obras. No primeiro, é possível observar os trabalhadores fixos em suas estações de trabalhos; no segundo, trabalhadores e materiais se movendo pela “linha de produção” (SACKS, 2016).

No que diz respeito à execução das atividades, no ambiente da construção, é necessário ter disponíveis sete pré-condições para que a atividade ocorra: atividade predecessora finalizada, informação, material, equipamento, equipe, espaço e condições externas (KOSKELA, 2000).

Os métodos de planejamento e controle da produção têm como um de seus objetivos tornar o sistema de produção mais eficiente em termos de fluxo. Neste caso, as principais funções de um método são: (I) o plano de produção deve permitir a eficiência do fluxo; (II) manter o fluxo controlando e direcionando proativamente o sistema de produção; e (III) melhorar continuamente o sistema de produção como um todo, reduzindo a variabilidade no nível da tarefa (LIKER, 2005; BRODETSKAIA *et al.*, 2013).

2.1 Location Based Management System (LBMS)

No método baseado em locais, desenvolvido por Kenley e Seppänen, o LBMS tem o propósito de planejar e controlar projetos de construção civil, fornecendo fluxo contínuo de trabalho para as equipes, bem como maximizando a produtividade e minimizando as interrupções, desmobilização das equipes e retrabalho (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010).

Além disso, se baseia na movimentação de recursos no canteiro de obras, tendo como objetivo básico maximizar o uso contínuo da mão de obra, ampliando a produtividade

e reduzindo desperdício e riscos, bem como melhorar a previsibilidade e aumentar a transparência (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010). Há valor em dividir um projeto em locais, pois facilita o monitoramento e a análise dos dados, além de direcionar o planejamento baseado em tarefas e atividades, concentrando-se em seu movimento através dos locais (SEPPÄNEN et al., 2014). Kenley e Seppänen (2010) afirmam que o LBMS é segmentado em duas partes, quais sejam: (i) planejamento e (ii) controle, contendo seis estágios principais (OLIVIERI, 2016):

- a) Estimar as quantidades por local;
- b) Explorar a atividade da linha de base para melhor detalhamento;
- c) Planejar os recursos;
- d) Definir a lógica sequencial;
- e) Verificar se as restrições da linha de base estão sendo cumpridas;
- f) Monitorar, controlar e atualizar as tarefas.

2.2 Takt Planning (TP)

Para a produção takt (TP), o objetivo é identificar processos repetitivos e equilibrá-los, permitindo fluxo eficiente de produção (DLOUHY et al., 2016). Frandson (2019) aponta que, na produção takt, o objetivo é aumentar de forma holística o fluxo, mantendo o takt time constante.

É um método de estruturação de trabalho que alinha as taxas de produção das equipes de trabalho, ritmando o trabalho por meio de um conjunto de zonas em uma sequência definida, a fim de criar fluxo de trabalho contínuo, proporcionando transferências confiáveis e uma oportunidade de melhorar continuamente o sistema de produção (FRANDSON, 2019).

3 Procedimento metodológico

Para o desenvolvimento da pesquisa, o método adotado foi o estudo de caso para compreensão e investigação do problema na prática; e como validação das diretrizes preliminares, utilizou-se o método denominado como painel de especialistas.

A primeira parte (compreensão) iniciou-se com a identificação do problema de pesquisa; neste caso, a falta de fluxo contínuo em ORVs é uma lacuna encontrada tanto na literatura quanto nos estudos de caso. Desta forma, a pergunta de pesquisa é: Como implementar fluxo contínuo em ORVs por meio dos métodos de planejamento baseados em locais? Em seguida, fundamentado na revisão bibliográfica, o autor observou a necessidade de identificar quais obras se enquadram como ORVs e obter uma compreensão plena dos temas: Sistema Toyota de Produção (STP), Filosofia *Lean*, *Location Based Management System* (LBMS), Linha de Balanço (LOB) e *Takt Production* (TP). Finalmente, a etapa de compreensão é encerrada com a seleção dos estudos de casos, recebimento dos documentos pertinentes a cada obra e realização das entrevistas com os profissionais responsáveis pelos projetos, denominados como A, B e C. Os três projetos possuíam uma área a ser construída entre 248 e 595m² com prazo de execução entre 75 e 115d.

A segunda parte (desenvolvimento da pesquisa) iniciou-se com a análise preliminar dos estudos de caso, os quais foram avaliados de acordo com a filosofia de planejamento e controle dos métodos TP e LBMS. Em seguida, as diretrizes preliminares foram desenvolvidas através dos principais resultados obtidos na análise preliminar, sendo validadas por meio de um painel de especialistas, em que participaram cinco profissionais e acadêmicos especialistas em planejamento e controle de obras. Por fim, as diretrizes preliminares foram ajustadas de acordo com os comentários e sugestões dos especialistas, dando origem as diretrizes finais que auxiliarão os profissionais atuantes em ORVs a implementarem o conceito de fluxo contínuo.

4 Resultados

4.1 Análise preliminar

Os resultados da análise preliminar estão apresentados no **Quadro 1**.

Quadro 1: Análise preliminar dos estudos de caso

(Continua)

Itens avaliadores	Estudo de caso A	Estudo de caso B	Estudo de caso C
Fluxo	Avaliando os documentos recebidos, sendo eles cronograma físico, cronograma de suprimentos e orçamento, não foi possível garantir uma análise quanto ao fluxo contínuo das tarefas, visto que não há uma divisão do projeto em locais, impossibilitando visualizar o trajeto das equipes através dos locais de trabalho. No entanto, durante as entrevistas estruturadas, 100% dos entrevistados pontuaram a quebra de ritmo recorrente das equipes.		
Locais	Para os três estudos de caso, nenhum deles elabora o cronograma físico baseado nos métodos LBMS ou TP, ou seja, é elaborado em função das atividades.		
Pacotes de trabalho	Para os estudos de casos A e C, devido ao detalhamento superficial do cronograma físico, é impraticável analisar quais atividades compõem cada pacote de trabalho, provocando dúvidas na quantificação das durações e quantidades, visto que a omissão de atividades críticas dentro de um pacote de trabalho pode ocasionar na quebra do fluxo das atividades, gerando espera em outras equipes envolvidas dentro de um determinado local. No entanto, o estudo de caso B possui um plano de uma forma mais singular, detalhando o pacote de trabalho e possibilitando avaliar as atividades que o compõe, por exemplo, divididos em equipes de fundação, alvenarias, acabamentos e etc.		
Tempo takt	Os planos foram elaborados através do gráfico de Gantt. Desta forma, os estudos de caso não utilizam o tempo takt no desenvolvimento do cronograma.		
Recursos / Quantidades	Nos estudos de casos A e C, as atividades não são quantificadas por local de trabalho ao ponto de fundamentar a definição dos recursos e durações; além disso não há um banco de dados para consulta das taxas de produção, isto é, em sentido oposto ao método baseado em locais. Para o estudo de caso B as atividades não são quantificadas por local de trabalho, entretanto se utiliza banco de dados para consulta das taxas de produção, logo o plano é elaborado de forma nivelada, sendo que os recursos são definidos baseado nas quantidades das tarefas e gerando durações fundamentadas.		
Linha de balanço	A Linha de Balanço não é utilizada como forma gráfica de representação do plano, sendo que as áreas takt ou lotes de trabalho se resumem em um único lote.		
Estágio de informações	Nenhum deles atualiza o plano físico planejado, conhecido como linha de base, impossibilitando o desenvolvimento dos demais estágios de informação, sendo eles: atual, progresso e previsão.		
Alertas	Na etapa de planejamento foram definidos marcos em atividades específicas. Na etapa de controle, alertas foram adicionados em formato de blocos autoadesivos para as atividades: vidros, caixilhos e piso porcelanato.		Para os demais estudos de caso, os alertas não foram utilizados.

Quadro 1: Análise preliminar dos estudos de caso

(Continuação)

Itens avaliadores	Estudo de caso A	Estudo de caso B	Estudo de caso C
Ações de controle	As ações de controle ou corretivas são aplicadas, sendo que as medidas necessárias são tomadas imediatamente após a identificação de desvios no plano, por exemplo, elevar a quantidade de recursos, atuar em dois turnos de trabalho e em casos extremos, iniciar atividades sucessoras sem as predecessoras estarem finalizadas.		
Planejamento Periódico	Semanalmente é realizado uma reunião com o coordenador de obras, onde as metas e expectativas são alinhadas e estudadas, com o objetivo de atender a linha de base.	Uma vez por semana o engenheiro responsável comparece à obra com a finalidade de fiscalizá-la. Nesta visita é realizada uma reunião com o empreiteiro onde os próximos passos são alinhados, desde a execução das atividades até a compra dos materiais necessários.	Não existe planejamento semanal de uma forma padronizada, As reuniões entre empreiteiro e engenheiro são realizadas conforme necessidade durante o andamento da obra.
Painel de controle	Neste caso, nenhum dos estudos de caso utiliza qualquer ferramenta visual, com os planos sendo acompanhados diretamente no Excel ou onde foram elaborados.		

Fonte: elaborado pelos autores

4.2 Desenvolvimento e validação das diretrizes

As diretrizes preliminares foram desenvolvidas a partir dos problemas identificados na análise preliminar. Em suma, o modelo é composto por oito diretrizes, cinco constituindo a fase de planejamento e três a fase de controle, sendo que cada uma delas contém uma função específica dentro das fases, que, quando em conjunto, oferecem um melhor desempenho do sistema de planejamento e controle de projetos considerados como ORV's. A incorporação dos métodos LBMS e TP tem como finalidade desenvolver um plano voltado ao fluxo contínuo das tarefas. Desta forma, a seguir são apresentadas de forma sucinta as diretrizes que compõem o modelo preliminar:

1. Divisão do projeto em locais;
2. Definição dos pacotes de trabalho;
3. Definição do tempo takt;

4. Definição dos recursos, quantidades e durações;
5. Desenvolvimento do plano em linha de balanço;
6. Atualização e acompanhamento do plano;
7. Implementação de alertas;
8. Planejamento periódico;

Para o processo de avaliação e validação, optou-se pelo uso do método Painel de Especialistas. Neste sentido, um painel de especialistas tem como objetivo entregar um consenso entre os participantes de um determinado tema, oferecendo uma variedade de funções (GABEL; SHIPAN, 2004). Além disso, é empregado em situações nas quais a evidência é carente de qualidade ou é insuficiente para determinar uma solução para o problema de pesquisa (COULTER *et al.*, 2016; SCHULMAN GREEN *et al.*, 2019). Sendo assim, este método pode ser aplicado em uma variedade de funções, como por exemplo: definir níveis profissionais em relação à prática; identificar e destacar competências profissionais; identificar questões para pesquisas; desenvolver diretrizes, dentre outras (GABEL; SHIPAN, 2004).

A realização do Painel de Especialistas partiu de um processo. Inicialmente, o Painel Preparatório foi enviado aos especialistas com cinco dias de antecedência, conjuntamente com um vídeo explicativo em formato de apresentação, o qual abordava resumidamente o tema da pesquisa, o objetivo, desenvolvimento, resultados preliminares e as diretrizes preliminares.

Passados os cinco dias iniciais, no sexto e no sétimo dia o pesquisador abordou todas as diretrizes que compunham o modelo, dividido em dois temas, planejamento e controle. As diretrizes foram disponibilizadas por meio do grupo online, no qual todos os participantes estavam presentes.

A classificação ou ranqueamento das informações coletadas se deu por meio da utilização de uma escala de 5 pontos, sendo: 1 - concordo totalmente; 2 - concordo; 3 - não concordo e nem discordo; 4 - discordo; e 5 - discordo totalmente (GABEL *et al.*, 2002).

A estratégia de análise das informações coletadas foi dividida em duas etapas. A primeira constituiu-se em ranquear cada diretriz mediante a classificação pontuada pelos especialistas. Em seguida, o pesquisador adotou como premissa que: em relação às notas totais inferiores a 12 pontos, seria possível considerar a diretriz como “aplicável”; as notas totais entre 13 e 18 pontos, seriam consideradas como “aplicáveis com adequação”; e as notas totais acima de 19 seriam consideradas como “não aplicáveis”.

Em posse dos comentários, foi realizada uma discussão entre todos os especialistas, de modo que eles poderiam discordar ou concordar com a nota atribuída. Em todo caso, as diretrizes avaliadas com notas individuais de 3 pontos deverão ser ajustadas, por meio das melhorias propostas pelos especialistas, independentemente da discussão realizada após a atribuição da nota.

No que concerne às notas totais, as diretrizes consideradas como “aplicáveis” foram demarcadas em verde, as “aplicáveis com adequação” foram demarcadas em amarelo e as “não aplicáveis” demarcadas em vermelho. **No quadro 2**, são apresentados os resultados quantitativos.

Quadro 2 - Resultados quantitativos – Painel de especialistas

Tema	Oportunidades de aplicação das diretrizes por meio dos conceitos LBMS e TP em ORVs	Especialistas					Total
		E1	E2	E3	E4	E5	
P L A N E J A M E N T O	Diretriz I. Dividir o projeto em locais	1	1	2	2	2	8
	Diretriz II. Definir e dividir os pacotes de trabalho	1	1	3	1	4	10
	Diretriz III. Definir o ritmo de produção por meio do tempo takt	2	2	2	4	2	12
	Diretriz IV. Definir os recursos, quantidades e durações	1	1	2	1	1	6
	Diretriz V. Elaborar o plano em formato de Linha de Balanço	1	1	4	2	2	10
C O N T R O L E	Diretriz VI. Atualizar o plano semanalmente e acompanhá-lo	2	5	4	2	2	15
	Diretriz VII. Implementar alertas	3	3	2	1	2	11
	Diretriz VIII. Planejamento semanal - Reuniões semanais com as equipes	2	5	4	2	2	15

Classificação - Pontuação total		Legenda - Especialistas	
	Inferior a 12 pontos a diretriz é "aplicável"	1	Concordo totalmente
	De 13 a 18 pontos a diretriz é "aplicável com adequação"	2	Concordo
	Maior que 19 pontos a diretriz é "não aplicável"	3	Nem discordo e nem concordo
		4	Discordo
		5	Discordo totalmente

Fonte: de autoria própria

Após a compilação dos dados extraídos do Painel e a devida identificação das diretrizes que necessitavam ajustes, o pesquisador incrementou os principais comentários dos especialistas nas diretrizes preliminares, dando origem à versão final das diretrizes desta pesquisa.

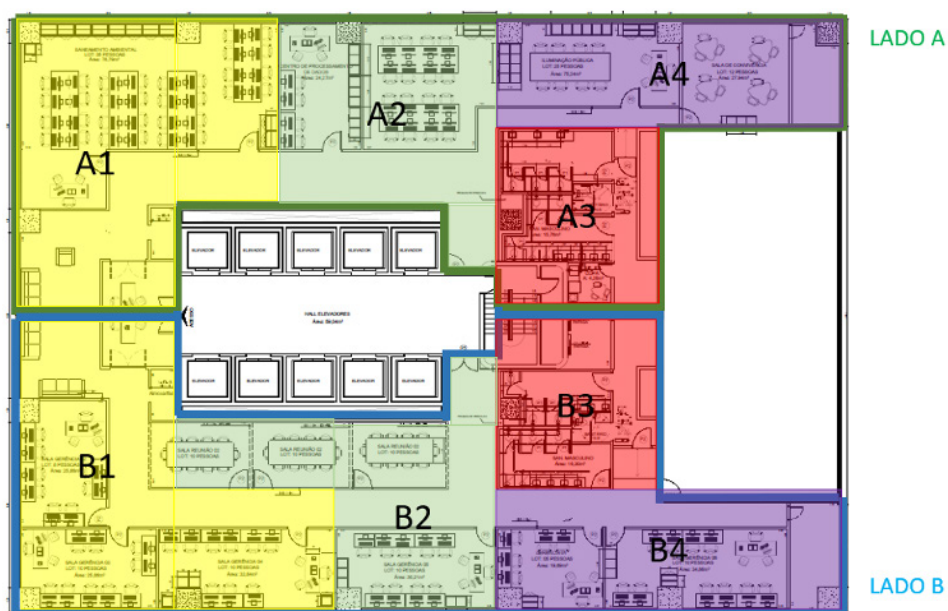
4.3 Versão final das diretrizes

A seguir, será apresentada a versão final das diretrizes, que possuem como objetivo auxiliar os profissionais atuantes em ORVs a implementarem fluxo contínuo em suas obras.

- Diretriz 1: Dividir o projeto em locais

A primeira fase da etapa de planejamento é determinar a divisão, o tamanho dos lotes de trabalho e a sequência construtiva, o que dependerá da especificidade do projeto, levando-se em consideração as características físicas de layout, tamanho e quantidades de serviços. Os lotes serão divididos em tamanhos proporcionais, de modo que a quantidade de trabalho deve ser similar. As **Figuras 1 e 2** exemplificam a divisão dos lotes e ELP.

Figura 1 - Divisão do projeto em locais



Fonte: de autoria própria

Devido a especificidade do projeto, onde boa parte do espaço será ocupada por estações de trabalho que possuem o mesmo padrão construtivo e acabamentos entre os ambientes (exceto os sanitários), os lotes foram divididos em tamanhos semelhantes de áreas de piso e forro, ou seja, os lotes são semelhantes em relação a área de construção do projeto.

Figura 2 – Estrutura de Locais de Projeto (ELP)

Estrutura de Locais de Projeto							
ANDAR	LADO	ÁREA	2023				
			Jan		Fev		Mar
			1	15	1	15	15
13	A	A1					
		A2					
		A3					
		A4					
	B	B1					
		B2					
		B3					
		B4					

Fonte: de autoria própria

O nível mais alto foi dividido através dos andares, de modo que, caso houvesse outros andares em reforma, seriam independentes entre eles.

O nível intermediário teve sua divisão fundamentada no tamanho do andar, pois cada andar possui aproximadamente 950m², e de acordo com a especificidade deste projeto, os lados (A e B) são independentes em vários aspectos, como por exemplo, cada lado possui alimentações independentes de elétrica, lógica, hidráulica, esgoto e ar-condicionado, o que possibilita o nível intermediário dividir pela metade o nível mais alto da hierarquia.

O nível mais baixo engloba, de fato, os lotes de trabalho de cada lado do projeto, os quais são enumerados de 1 a 4, denominado como A.1, A.2 e assim por diante.

Em relação ao processo de sequenciamento das atividades, dependerá do construtor responsável pelo projeto, visto que existem maneiras distintas de sequenciá-las, como por exemplo, a instalação do piso pode ocorrer antes da execução do forro, e vice-versa. Para o projeto exemplificado acima, a sequência de prioridade de cada lote seguirá a hierarquia em relação ao número do lote, por exemplo, o projeto se iniciará pelo lote A1, em seguida B1, A2, B2 e assim por diante.

- Diretriz 2: Definir os pacotes de trabalho considerando todos os fluxos envolvidos no processo

As atividades de cada área serão decompostas no menor nível de detalhe possível. No entanto, um ponto importante a ser considerado nesta etapa é entender que os fluxos do processo – sendo eles, informações, pessoas e materiais – devem ser ponderados na tomada de decisão, em que a definição dos pacotes de trabalho não pode ser pensada de forma isolada. Por exemplo, na determinação dos pacotes de trabalho “forro” e “fechamentos em gesso acartonado”, sabe-se que os profissionais são os mesmos para ambos os pacotes de trabalho. Diante disto, surge a indagação: as pessoas que executarão serão as mesmas? Percebe-se a possibilidade de duas respostas, sendo que cada uma delas exercerá um impacto diferente na elaboração do plano como um todo, podendo impactar na quantidade de recursos para atender ao planejado, podendo impactar na disposição destes pacotes na linha de balanço. Será, então, vantajoso agrupar em único pacote de trabalho? Estas são questões que deverão ser levantadas antecipadamente e discutidas nesta etapa do processo de elaboração do plano.

A decomposição terá auxílio dos locais definidos e de algum documento que possua informações acerca de quantitativos dos itens a serem executados; neste caso, serão retiradas do orçamento da obra respectiva.

A **FIGURA 3**, apresenta a divisão dos pacotes de trabalho em um projeto exemplo.

Figura 3 - Divisão dos pacotes de trabalho

DEMOLIÇÕES	INSTALAÇÕES ELET	INSTALAÇÕES HID	AR CONDICIONADO	PPCI	FECHAMENTO VERTICAL	FORRO	PISO	PINTURA
DEM	INSTELET	INSTHID	AC	PPCI	FV	FO	PI	PINT

Fonte: de autoria própria

Diretriz 3: Definir o ritmo de produção por meio de um tempo takt único por projeto

O ritmo da produção será definido por meio do auxílio do tempo takt. No entanto, deverá ser definido um para cada projeto diferente, mesmo que possuam padrões construtivos iguais; isto ocorre devido à particularidade de cada localidade.

O TP trabalha de modo iterativo. Após a definição das zonas de trabalho e o tempo takt, é possível identificar pacotes de trabalho que excederam o limite superior do takt. Desta forma, será preciso rever as quantidades de recursos ou redefini-lo. Além disso, o takt time será definido por meio da fórmula desenvolvida por Oliveira (2018), apresentada a seguir:

Tempo takt = (Prazo para conclusão das atividades) / (Quantidade de áreas takt + n° equipes – 1)

Utilizando os exemplos anteriores das diretrizes 1 e 2, levando-se em consideração que o projeto foi dividido em 8 áreas takt, possuindo, então, 9 pacotes de trabalho, e a fim de demonstrar a utilização da fórmula, será considerado um prazo de 75 dias corridos para conclusão do projeto.

Tempo takt = $75 / (8 + 9 - 1) = 4,68$ dias

O tempo takt indica o tempo em que cada equipe deverá finalizar um lote. Neste caso, cada equipe terá 5 dias para finalizar cada área dividida inicialmente do projeto.

- Diretriz 4: Definir os recursos, quantidades e durações

Inicialmente, é definida a quantidade de recursos mínimos para a execução de uma determinada tarefa, ou seja, é a menor combinação possível de colaboradores para executar determinada atividade. No entanto, para a definição da quantidade mínima, deve-se levar em consideração o quantitativo de trabalho de cada área takt, de acordo com o escopo e a produtividade, que pode ser extraída de algum banco de dados.

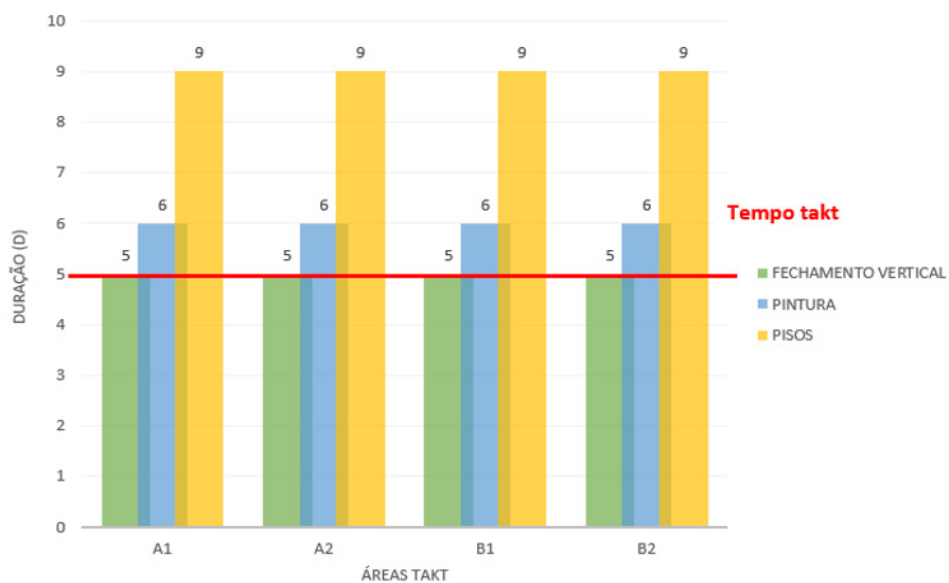
Definida, então, a equipe mínima, o próximo passo é definir o tempo takt, que levará em consideração todos os itens anteriores até encontrar um ritmo adequado que atenderá à expectativa do projeto. Provavelmente, após a definição do ritmo, será possível observar que todas ou algumas equipes se encontram abaixo do ritmo desejado ou com diferentes velocidades de produção em relação às outras; logo, será necessário nivelar os recursos. Considerando as atividades “fechamento vertical, piso e pintura”, e que a produtividade das equipes foi extraída de um banco de dados da empresa, há como exemplo as **FIGURA 4** e **5**, que apresentam a duração das atividades selecionadas por área de trabalho em função da equipe mínima; entende-se que a equipe mínima deve ser composta por 2 funcionários, sendo especialista e ajudante.

Figura 4 - Taxa de produção das equipes

ÁREA TAKT	ATIVIDADE/EQUIPE	COEF (Hh/m ²)	QUANT SERVIÇO (m ²)	QUANT RECURSOS	DURAÇÃO REAL (d)
A1	FECHAMENTO VERTICAL	1,1	65	2	5
A1	PISOS	1,2	118,75	2	9
A1	PINTURA	0,5	183,75	2	6
B1	FECHAMENTO VERTICAL	1,1	65	2	5
B1	PISOS	1,2	118,75	2	9
B1	PINTURA	0,5	183,75	2	6
A2	FECHAMENTO VERTICAL	1,1	65	2	5
A2	PISOS	1,2	118,75	2	9
A2	PINTURA	0,5	183,75	2	6
B2	FECHAMENTO VERTICAL	1,1	65	2	5
B2	PISOS	1,2	118,75	2	9
B2	PINTURA	0,5	183,75	2	6

Fonte: de autoria própria

Figura 5 - Duração das atividades por zona de trabalho



Fonte: de autoria própria

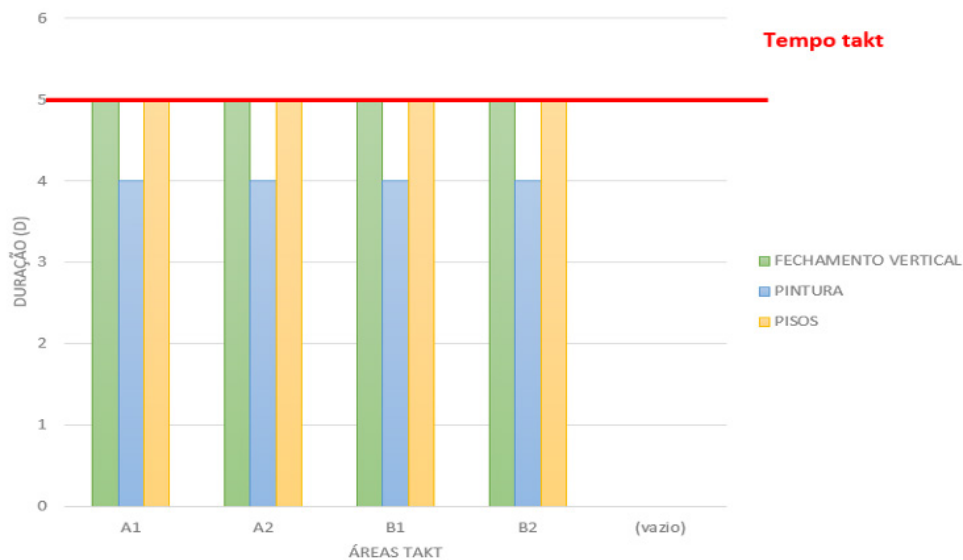
É possível observar que as atividades “pintura e pisos” ultrapassaram o tempo takt pré-definido para este projeto; o próximo passo, tal como mencionado anteriormente, é balancear os recursos com a finalidade de atender ao tempo takt e, assim, atender ao prazo do projeto. As **Figuras 6 e 7** apresentam o balanceamento dos recursos.

Figura 6 - Balanceamento dos recursos

ÁREA TAKT	ATIVIDADE/EQUIPE	COEF (Hh/m ²)	QUANT SERVIÇO (m ²)	TEMPO TAKT (d)	QUANT RECURSOS	DURAÇÃO REAL (d)
A1	FECHAMENTO VERTICAL	1,1	65	5	2	5
A1	PISOS	1,2	118,75	5	4	5
A1	PINTURA	0,5	183,75	5	3	4
B1	FECHAMENTO VERTICAL	1,1	65	5	2	5
B1	PISOS	1,2	118,75	5	4	5
B1	PINTURA	0,5	183,75	5	3	4
A2	FECHAMENTO VERTICAL	1,1	65	5	2	5
A2	PISOS	1,2	118,75	5	4	5
A2	PINTURA	0,5	183,75	5	3	4
B2	FECHAMENTO VERTICAL	1,1	65	5	2	5
B2	PISOS	1,2	118,75	5	4	5
B2	PINTURA	0,5	183,75	5	3	4

Fonte: de autoria própria

Figura 7 - Balanceamento dos recursos atendendo o tempo takt



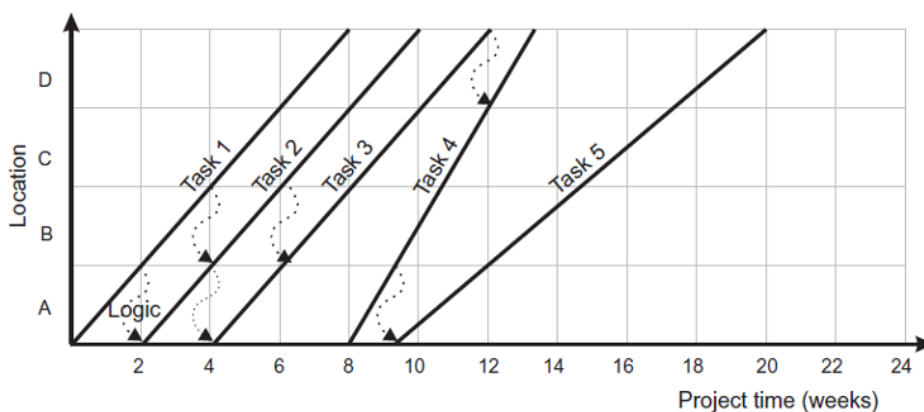
Fonte: de autoria própria

- Diretriz 5: Elaborar o plano em formato de linha de balanço quando aplicável

A elaboração do plano será realizada sob formato de linha de balanço quando for aplicável ao projeto, sendo necessário passar por uma validação prévia do planejador responsável pelo projeto.

A linha de balanço pode ser elaborada por meio de software especializado, como por exemplo, o Schedule Planner Standard, ou executada de forma manual, com a ferramenta Excel ou Project. A **FIGURA 8**, a seguir, apresenta os pacotes de trabalho (task), os locais do projeto no eixo y e o prazo no eixo X.

Figura 8 - Linha de Balanço



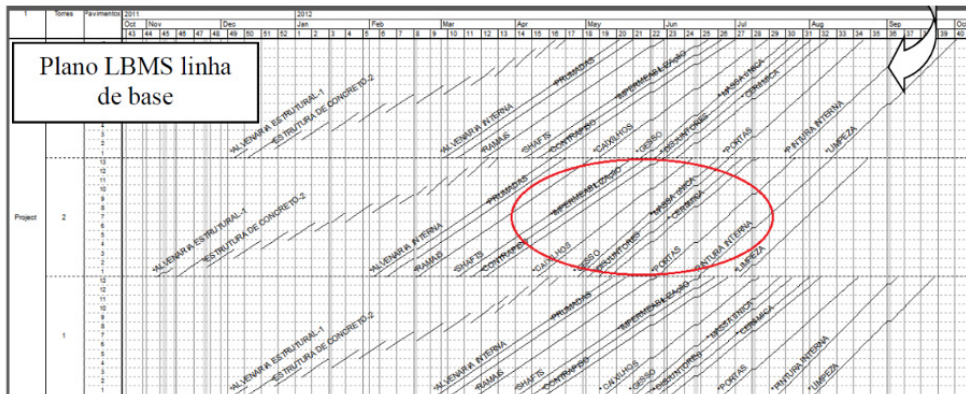
Fonte: Kenley; Seppanen, 2010

- Diretriz 6: Atualizar o plano e controlá-lo

O acompanhamento do plano ocorrerá a partir do desenvolvimento das linhas de base, atual e previsão. A linha de base não será alterada, pois serve como aferição em relação às demais linhas de informações. A frequência de atualização do plano não pode ser fixada em um horizonte semanal, já que dependerá de cada projeto, atendendo às necessidades de sua especificidade. No entanto, para a tipologia de obras deste estudo, a atualização mínima do plano deve ocorrer semanalmente, uma vez que um período maior entre uma atualização e outra pode gerar diversas adversidades em relação ao cumprimento do prazo e à identificação dos desvios.

Inicialmente, será elaborado o plano em formato de linha de balanço, denominado como linha de base. Durante a fase de execução do projeto, o plano será atualizado com as datas reais de início e término das atividades, e assim serão gerados indicadores de produtividade. A **FIGURA 9** exemplifica um plano base desenvolvido; nele é possível identificar as datas de início e término das atividades planejadas.

Figura 9 - Linha de balanço (base)

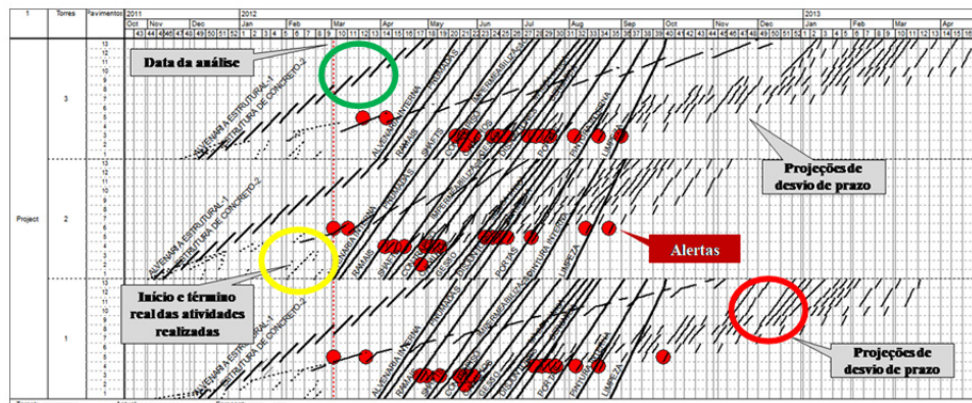


Fonte: Olivieri, 2016

A seguir, na **FIGURA 10**, extraída do software Schedule Planner, é possível observar a linha de balanço após a atualização do plano. Neste caso, houve diversas atividades cuja produtividade está abaixo do planejado. As linhas de fluxo circuladas em verde referem-se às datas inicialmente planejadas, as linhas pontilhadas circuladas em amarelo referem-se às datas reais de início e de término, também conhecida como linha atual, e as linhas circuladas em vermelho referem-se às projeções, também conhecida como linha de previsão.

Por meio das atualizações e do desenvolvimento das demais linhas, é possível observar quais atividades estão fugindo do plano, bem como identificar o quanto estão fugindo e, assim, tomar as medidas corretivas necessárias.

Figura 10 - Atualização do plano



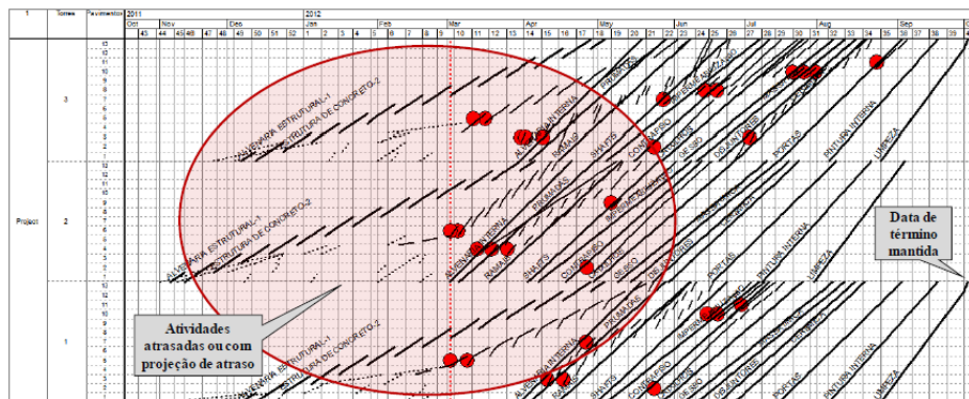
Fonte: Olivieri, 2016

- Diretriz 7: Implementar alertas em estágios diferentes do plano

Os alertas serão desenvolvidos e implementados de acordo com o horizonte de planejamento, considerando estágios diferentes, sendo eles: curto e longo prazo. Desta forma, atuarão tanto no curto prazo, tendo como função antecipar problemas futuros quando as atividades anteriores empurrarem a previsão da tarefa sucessora, quanto no longo prazo, atuando no formato de lembretes (milestones) cruciais para atender ao prazo de projeto.

A **FIGURA 11** ilustra, por meio de pequenos círculos vermelhos, os alertas implementados.

Figura 11 - Implementação de alertas ao plano



Fonte: Olivieri, 2016

- Diretriz 8: Planejamento periódico

A periodicidade dos encontros entre o engenheiro responsável e as equipes deverá ser de acordo com a especificidade do projeto. Nessas reuniões será discutido o avanço físico do plano e se está dentro do planejado; caso contrário, deverão ser discutidas ações corretivas com a finalidade de recuperar os desvios identificados e, assim, planejar as próximas atividades em um horizonte de curto e longo prazo, garantindo-se a eliminação de restrições como materiais, equipes e dúvidas de projeto.

Para esses encontros, é interessante que o engenheiro responsável disponibilize o plano sob um formato mais visual e amplo, ao ponto de os empreiteiros conseguirem visualizar e identificar adequadamente as tarefas subsequentes, as áreas de trabalho, a sequência construtiva e, principalmente, as linhas de balanço. A **FIGURA 12**, a seguir, exemplifica este modelo de apresentação.

Figura 12 - Apresentação do plano de forma visual



Fonte: Frandson; Tommelein, 2016

5 Conclusões

Este trabalho apresentou oito diretrizes, divididas entre as etapas de planejamento (diretrizes 1 a 5) e controle (diretrizes 6 a 8), que visam auxiliar os profissionais atuantes em ORVs na implementação do fluxo contínuo em suas obras. Por meio do auxílio dos conceitos TP e LBMS, as diretrizes foram desenvolvidas a partir da revisão bibliográfica e dos estudos de caso, tendo sido validadas por um painel de especialistas, chegando-se, então, a uma versão final.

A diretriz 1 trata da divisão do projeto em locais e tem como finalidade proporcionar um maior controle e auxílio visual aos projetos, o que se dá devido à redução do tamanho dos lotes de trabalho e, como resultado, isso também reduz a duração total do projeto. Em complemento à diretriz 1, a diretriz 2 parte do fundamento de definir os pacotes de trabalho. Essa etapa determina o menor nível de detalhe possível, dando subsídio à elaboração das próximas etapas de um processo de planejamento.

Na diretriz 3, o ritmo de produção das equipes será determinado pelo tempo takt, que é fundamental para promover o fluxo de operação, de modo a evitar interrupções e quebras de ritmo. Caminhando junto ao ritmo do projeto, na diretriz 4 é necessário determinar as durações e as quantidades dos recursos, visto que o objetivo é manter a continuidade das tarefas com o auxílio do tempo takt; o objeto desta etapa é visualizar de forma clara e assertiva a quantidade de pessoas a serem alocadas em cada área de

trabalho. A diretriz 5 é a última da etapa de planejamento, tendo como finalidade o desenvolvimento de um cronograma em formato de linhas de balanço, reduzindo os riscos de interferências das equipes entre os locais de trabalho.

Dando início à etapa de controle, a diretriz 6 aborda a atualização do plano. Nesta diretriz é possível extrair outros estágios de informação, sendo as linhas atual e previsão as que proporcionarão previsibilidade durante a execução do projeto. Esta etapa permite identificar de forma visual se o andamento do projeto está caminhando conforme o previsto.

Ao oferecer maior apoio e controle ao projeto, a diretriz 7 sugere a implementação de alertas, com o intuito de antecipar problemas futuros quando as atividades fugirem do previsto, postergando as atividades sucessoras. Por fim, a diretriz 8 trata do planejamento periódico durante a fase de execução do projeto, em que serão realizadas reuniões para o entendimento de possíveis gargalos e programações futuras, cuja finalidade é discutir ações corretivas quando necessárias, com foco na continuidade das tarefas.

A aplicação do painel de especialistas como método de validação de um artefato o torna mais idôneo quanto à sua aplicação. No entanto, durante a realização do painel, foi possível observar interpretações e pontos de vistas distintos para uma mesma classe de especialistas; isto ocorre justamente em decorrência das experiências e adversidades únicas de cada participante. Desse modo, é necessário que o intermediador deste processo de validação pontue de forma clara a proposta de trabalho, não dando margem à ambiguidade para as informações descritas. Além disso, um ponto importante a ser analisado ao se utilizar o painel de especialistas é o formato e a plataforma de realização. Foi possível observar que o modo online não ao vivo apresenta pontos positivos, como por exemplo, o debate entre os envolvidos, que, neste caso, é algo mais sutil, justamente em razão da falta do encontro entre todos os participantes, o que gera uma maior segurança e, conseqüentemente, a contribuição pode ser mais efetiva. No entanto, por outro lado, a falta deste encontro entre os envolvidos reduz a qualidade das informações, entende-se, então, que a discussão positiva para uma determinada finalidade é benéfica para se chegar a um consenso e, conseqüentemente, a uma melhor resolução de um problema.

O desenvolvimento das diretrizes finais foi exemplificado através da utilização de um projeto planejado e controlado pelo autor desta pesquisa, no entanto este exemplo não se trata de uma ORV, e sim da reforma do escritório de uma empresa de varejo.

Diante disso, considera-se como limitação da pesquisa, primeiramente, o entendimento dos participantes quanto à proposta de pesquisa e ao papel do intermediador em pontuar de forma clara a proposta do trabalho, a escolha do método e do formato de validação da pesquisa, e, por fim o projeto utilizado como ilustração para apresentação das diretrizes finais.

Como pesquisas futuras, sugere-se aplicar as diretrizes desenvolvidas em formato de checklist em Obras Rápidas de Varejo que ainda não foram iniciadas, possibilitando, deste modo, extrair indicadores quantitativos em relação ao fluxo contínuo das tarefas e qualitativos em relação a possíveis melhorias e aprendizados. Pode-se validar as diretrizes em múltiplos estudos de caso, ao ponto das diretrizes se tornarem um modelo de planejamento e controle a ser seguido que auxilie as empresas construtoras e profissionais atuantes em ORVs.

6 Agradecimentos

Primeiramente, agradecemos a todas as empresas construtoras que abriram suas operações para coleta e envio dos dados pertinentes as obras selecionadas para os estudos de caso, e aos profissionais e acadêmicos que participaram na validação das diretrizes através da realização do painel de especialistas. E por fim, ao IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) pelo apoio a esta pesquisa.

7 Referências

BALLARD, H.G. **The last planner system of production control**. Doctoral dissertation. University of Birmingham. 2000.

BONASORTE, M. D. C. **Identificação de Causas de Atrasos e Oportunidades de Aplicação dos Princípios Lean Construction e Fast Track em Obras Rápidas de Varejo**. 2021. 213 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Habitação: Planejamento e Tecnologia, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, São Paulo, 2021.

BRODETSKAIA, I.; SACKS, R.; SHAPIRA, A. **Stabilizing production flow of finishing works in building Construction with re-entrant flow**. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139, 665–74. 2013.

COULTER, I.; ELFENBAUM, P.; JAIN, S.; JONAS, W. SEaRCH™ expert panel process: streamlining the link between evidence and practice. **BMC Research Notes**, v. 9, n. 16, p. 1-9, 2016.

DLOUHY, J.; *et al.* **Three-level method of takt planning and takt control – a new approach for designing production systems in construction**. 24th annual conference of the international group for lean construction, 20–22 July 2016 Boston, USA, Sect. 2, 13–22. 2016.

FRANDSON, A.G. **Takt time planning as a work structuring method to improve construction work flow**. Doctoral dissertation. UC Berkeley. 2019.

FRANDSON, A.G.; SEPPÄNEN, O.; TOMMELEIN, I.D. **Comparison between location based management and takt time planning**. 23rd annual conference of the international group for lean construction, 29–31 July 2015 Perth, Australia, 3–12. 2015.

GABEL, M. J. *et al.* A social choice approach to expert consensus panels. **Journal Of Health Economics**. Lexington,, p. 543-564. jun. 2002.

GABEL, M. J.; SHIPAN, C. R. A social choice approach to expert consensus panels. **Journal of Health Economics**, v. 23, n. 3, p. 543-564, 2004.

KENLEY, R.; SEPPÄNEN, O. **Location-based management for construction: Planning, scheduling and control**. 1. ed. Abingdon: Spon Press, 2010. 554 p.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction.** 2000, Espoo, Finland: VTT Technical Research Centre of Finland.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction.** Technical. Rep. No. 72, Center for Integrated Facility Eng., Dept. of Civil Eng., Stanford Univ., Stanford, CA. 1992.

LEHTOVAARA, J.; *et al.* **How takt production contributes to construction production flow: a theoretical model,** *Construction Management and Economics*, 2021, 39:1, 73-95, DOI: 10.1080/01446193.2020.1824295.

LIB, Lean Institute Brasil. **Léxico Lean.** 2. ed. São Paulo: Lean Institute Enterprise, 2007. 107 p.

LIKER, J. K. **The Toyota way.** New York, NY: McGraw-Hill. 2005.

LOWE, R. H.; *et al.* **A comparison of location-based scheduling with the traditional critical path method.** Paper prepared for the American 264 College of Construction Lawyers, 2012 Annual Meeting, San Francisco, 2012. Proceedings... San Francisco, 2012.

OLIVEIRA, E. H. **Lean Construction: O Princípio Do Takt.** São Paulo: Independently Published, 2018. 168 p.

OLIVIERI, Hylton. **Integração de sistemas de planejamento e controle da produção para empreendimentos da construção civil.** 2016. 279 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

OLIVIERI, H.; GRANJA, A. D. **Procedimento de três passos para incorporação de fluxo contínuo em cronogramas de obras.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 12., 2021, Maceió. Anais[...] Porto Alegre: ANTAC, 2021. p.1-8. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sibragec/article/view/528>. Acesso em: 2 out. 2021.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício.** 1. ed. São Paulo: Lean Institute Brasil, 1999.

SACKS, R. **What constitutes good production flow in construction?** Construction management and economics, 2016, 34 (9), 641–656.

SU, G. R. **Obras rápidas de varejo: caracterização e proposta de diretrizes e produtos para planejamento e controle de tempos.** 2019. 125 f. Monografia (Especialização) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

10.29327/2152495.8.26-4



Para obter mais informações
sobre os mestrados profissionais

Entre em contato com Adilson ou Mary pelo e-mail
mestrado@ipt.br
ou ligue para (11) 3767.4673

Sobre os cursos de especialização,
curta duração e educação corporativa

Entre em contato com Andrea pelo e-mail
cursos@ipt.br
ou ligue para (11) 3767-4226

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
Av. Prof. Almeida Prado, 532
Cidade Universitária - São Paulo - SP
CEP 05508-901 - Brasil

Central de Relacionamento com o Cliente
(11) 3767-4102 / 4456 / 4091

Ensino Tecnológico
(11) 3767-4673 | mestrado@ipt.br

 <https://www.instagram.com/iptensinotecnologico/>

 <https://bit.ly/FacebookEnsinoTecnologicoIPT>

 <https://bit.ly/LinkedinEnsinoTecnologicoIPT>

 <https://www.youtube.com/@cursosipt>


INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

ENSINO TECNOLÓGICO



sapiens.ipt.br

revista IPT

TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Confira em nosso site todas as edições da revista

<https://bit.ly/revistaIPT>



ipt
INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS
ENSINO TECNOLÓGICO

