



Engenharia Civil UM

desde 1995



Os Editores:

José Barroso de Aguiar

Sandra Cunha

Número:

64

2023

e-ISSN 2795-5982
ISSN 0873-1152



Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Civil



Editores

José Luís Barroso de Aguiar, Centro de Território, Ambiente e Construção, Universidade do Minho, Portugal

Sandra Cunha, Centro de Território, Ambiente e Construção, Universidade do Minho, Portugal

Conselho Editorial

Aires Camões, Universidade do Minho, Portugal

Álvaro Cunha, Universidade do Porto, Portugal

Anabela Paiva, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal

António Tadeu, Universidade de Coimbra, Portugal

António Correia, Universidade do Minho, Portugal

António Baptista, Oregon Health & Science University, USA

António Pais Antunes, Universidade de Coimbra, Portugal

António Madaleno, Universidade Agostinho Neto, Angola

António Matos, Universidade Eduardo Mondlane, Moçambique

Antônio Silva, Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Carlito Junior, Universidade de São Paulo, Brasil

Cristina Alvarez, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Daniel Oliveira, Universidade do Minho, Portugal

Eduardo Julio, Universidade de Lisboa, Portugal

Eliane Viviani, Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Enio Figueiredo, Universidade Federal de Goiás, Brasil

Fernando Branco, Universidade de Lisboa, Portugal

Fernando Veloso Gomes, Universidade do Porto, Portugal

Fernando Pacheco Torgal, Universidade do Minho, Portugal

Flávio Silva, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil

Flávio Cunto, Universidade Federal do Ceará, Brasil

Francisco Martins, Universidade do Minho, Portugal

Glicério Trichês, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Guilherme Parsekian, Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Guillermo Etse, National University of Tucumán, Argentina

Gustavo Ayala, National Autonomous University of México, México

Hélder Sousa, Universidade do Minho, Portugal

Holmer Savastano Jr, Universidade de São Paulo, Brasil

Ignacio Perez, Universidad de La Coruña, Espanha

Jaume Avellaneda, Universitat Politècnica de Catalunya, Espanha

Joan Casas, Universitat Politècnica de Catalunya, Espanha

João Castro Gomes, Universidade da Beira Interior, Portugal

Joaquim Barros, Universidade do Minho, Portugal

Jorge Brito, Universidade de Lisboa, Portugal

Jorge Pais, Universidade do Minho, Portugal

Jorge Soares, Universidade Federal do Ceará, Brasil

Jose Adam, Universitat Politècnica de València, Espanha

José Teixeira, Universidade do Minho, Portugal

José Vieira, Universidade do Minho, Portugal

José Valente, Universidade do Porto, Portugal

José Marques, Universidade de Coimbra, Portugal

José Matos, Universidade de Lisboa, Portugal

José Mendes, Universidade do Minho, Portugal

José Catarino, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal

José Luís Pinho, Universidade do Minho, Portugal

Juan Marriaga, Universidad Nacional de Colombia, Colômbia

Khosrow Ghavami, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil

Lígia Silva, Universidade do Minho, Portugal

Luis Loria-Salazar, Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Luís Lopes, Universidade do Minho, Portugal

Luís Simões da Silva, Universidade de Coimbra, Portugal

Luís Picado Santos, Universidade de Lisboa, Portugal

Maisa Tobias, Universidade Federal do Pará, Brasil

Manuel Matos Fernandes, Universidade do Porto, Portugal

Marcial Blondet, Pontificia Universidad Católica del Perú, Peru
Márcio Farias, Universidade de Brasília, Brasil
Maria Almeida, Universidade do Minho, Portugal
Maria Bortolucci, Universidade Federal de São Carlos, Brasil
Maria Antunes, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal
Maria Jacques, Universidade de Brasília, Brasil
Marta Pagola, Universidad Nacional de Rosario, Argentina
Miguel Angel del Val, Universidad Politécnica de Madrid, Espanha
Naim Haie, Universidade do Minho, Portugal
Newsha Ajami, University of Stanford, USA
Normando Perazzo, Universidade Federal da Paraíba, Brasil
Paulo Lourenço, Universidade do Minho, Portugal
Paulo Vila Real, Universidade de Aveiro, Portugal
Resende Nsambu, Universidade Agostinho Neto, Angola
Ricardo Fakury, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
Rodrigo Alvarado, Universidad del Bío-Bío, Chile
Rui Ramos, Universidade do Minho, Portugal
Said Jalali, Universidade do Minho, Portugal
Tan Yigitcanlar, University of Queensland, Australia
Teresa Barbosa, Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil
Vasco Freitas, Universidade do Porto, Portugal
Vladimir Benincasa, Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Produção Editorial

Apoio Editorial: Vítor Costa, Centro de Território, Ambiente e Construção, Universidade do Minho, Portugal

Design da Capa: Vítor Costa

URL: <https://revistas.uminho.pt/>

E-mail: revistaengenhariacivil@civil.uminho.pt

Centro de Território, Ambiente e Construção
Departamento de Engenharia Civil
Universidade do Minho
Campus de Azurém
4800-058 Guimarães - Portugal

© Autores / Centro de Território, Ambiente e Construção



Este trabalho está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

e-ISSN: 2795-5982 | **ISSN:** 0873-1152

A Engenharia Civil UM é financiada por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do Projeto UIDB/04047/2020 (financiamento base) e UIDP/04047/2020 (financiamento programático).



Artigos publicados

Blocos de Concreto com Areia de Descarte de Fundição: Viabilidade Econômica, Propriedades Mecânicas e de Durabilidade

M. A. Campos, A. M. Argollo Ferrão, F. A. A. Fernandes

6

Influence of migrating inhibitor concentration on corrosion resistance of steel reinforcement in concrete

A. F. Theiss, C. Effting, A. Schackow

15

Comissionamento de sistemas prediais: aplicação em uma instalação hidrossanitária de uma cozinha e área de serviço

A. de S. Ferreira, R.P.A. Reis, A.T. Ferreira

30

Análise de Indicadores da Gestão de Produção em obras corporativas e comerciais

S. E. C. Ribeiro, D. M. Oliveira, C. C. Ribeiro, L. S. Mergh

40

A Qualidade na Gestão de Projetos de Construção e Montagem

M. H. M. Mattos

52

Blocos de Concreto com Areia de Descarte de Fundição: Viabilidade Econômica, Propriedades Mecânicas e de Durabilidade

Concrete Blocks With Waste Foundry Sand: Economic Viability, Mechanical and Durability Characteristics

M.A. Campos ^{a†}, A.M. Argollo Ferrão ^a, F.A.A. Fernandes ^b

^a *Universidade Estadual de Campinas, Laboratório de Engenharia de Empreendimentos da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, Brasil*

^b *Artblocos - Blocos de Concreto e Pisos Intertravados, Valinhos, Brasil*

[†] *Autor para correspondência: eengenheiromarcoantonio@hotmail.com*

RESUMO

No Brasil o volume de areia de descarte de fundição (ADF) é elevado, o que justifica o desenvolvimento de uma metodologia de reciclagem que permita a sua utilização na construção civil – beneficiando toda a cadeia produtiva e diminuindo o seu descarte nos aterros sanitários, que onera o setor. O bloco de concreto é um produto amplamente utilizado na construção civil brasileira, e a ADF pode ser utilizada como um agregado, substituindo a areia comum. Portanto, foram elaborados blocos de concreto com teores de substituição, em massa, de 13%, 19% e 25% da areia comum por ADF, submetendo-os aos ensaios de resistência à compressão nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias, comparando estes resultados a traços de blocos com agregados comuns. Além de obterem-se blocos de concreto com resistência que permite classificá-los como Classe B, o seu custo de produção com a incorporação de ADF foi inferior ao custo do bloco com agregados comuns. Pretende-se, com este artigo, demonstrar o valor da ADF como agregado na confecção de blocos de concreto, e ressaltar que até o momento presente não há uma metodologia difundida para o seu reaproveitamento em escala nacional. A incorporação da ADF na produção de blocos de concreto resulta em benefícios ambientais e econômicos para toda a cadeia produtiva envolvida.

ABSTRACT

In Brazil there is a very large volume of waste foundry sand (ADF), which explains the development of a recycling methodology that allows it to be used in civil construction - benefiting the entire production chain and reducing its disposal in landfills, which puts a burden on the sector. Concrete blocks are a widely used product in Brazil's civil construction sector and the ADF can be used as an aggregate, taking the place of ordinary sand. Therefore, concrete blocks were developed with levels of substitution of the common sand by the ADF, in terms of mass, of 13%, 19% and 25%. These blocks were then subjected to compressive strength testing at the ages of 7, 14, 21 and 28 days and the results were compared to concrete blocks made from common aggregates. In addition to obtaining concrete blocks with resistance that allows them to be classified as Class B, the production cost of the blocks that included ADF was lower than that of concrete blocks made from common aggregates. The objective of this article is to show the value of ADF as an aggregate in the manufacture of concrete blocks, and to stress that so far there is no widespread

Palavras-chave:

Areia de fundição; Bloco de concreto; Reciclagem; Sustentabilidade.

Keywords:

Foundry sand; Concrete blocks; Recycling; Sustainability.

methodology for its reutilization on a national scale. The inclusion of ADF in the production of concrete blocks generates environmental and economic benefits for the entire productive chain involved.

1. Introdução

Na última década, 2010, o processo de desenvolvimento do Brasil fomentou toda a cadeia da construção civil em especial através dos atores envolvidos no Programa Minha Casa Minha Vida, que entregou ou teve contratada pelo governo federal cerca de 4 milhões de unidades habitacionais.

Soma-se a este número os lançamentos imobiliários que não se enquadram no mencionado programa governamental, as unidades comerciais e todas as outras obras que movimentaram a economia nacional nos últimos anos. A evolução da construção civil no Brasil contribuiu, entre outros fatores, para com o desenvolvimento de novas tecnologias, processos fabris, produtos e materiais.

Por ser um processo de construção modular e eficiente na etapa de alvenaria, a utilização de blocos com função de vedação ou estrutural, cerâmicos ou de concreto, atingiu patamares elevados, sendo esta a técnica escolhida pela maioria dos empreendimentos do setor de construção de edifícios. Com isso o desenvolvimento da indústria de blocos experimentou um grande impulso, incorporando novas tecnologias, materiais, processos e produtos.

Os blocos de concreto são classificados por classe, conforme a NBR 6136 [1] em função de sua resistência à compressão, que determina a sua utilização (como, e em quais condições o material pode ser utilizado). De acordo com a NBR 6136 [1] os blocos de concreto devem atender, quanto a seu uso, as classes descritas a seguir:

- Classe A: bloco de concreto com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo: $F_{bk} \geq 8,0$ MPa;
- Classe B: bloco de concreto com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo: $F_{bk} \geq 4,0$ MPa e $F_{bk} < 8,0$ MPa;
- Classe C: bloco de concreto com ou sem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo: $F_{bk} \geq 3,0$ MPa;
- Classe D: bloco de concreto sem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo: $F_{bk} \geq 2,0$ MPa.

Constituídos por uma composição de material agregado, em geral, agregado graúdo, brita "0" ou pó-de-pedra, e miúdo, areia grossa, material aglomerante, cimento Portland, e uma parte líquida, água e aditivos, o bloco de concreto é um produto da construção civil passível de receber novos e alternativos materiais, mantendo em muitos casos suas características e propriedades.

É prática de mercado a utilização do pó-de-pedra em substituição ao agregado graúdo, sendo este o material alternativo mais utilizados nos blocos de concreto. Entretanto, há outros casos bem-sucedidos como em Campos [2] que combinou isoladores elétricos de porcelana ao cimento. Em Buttler [3] e Prado [4] os blocos foram confeccionados com rejeitos de concretos e em Fonseca [5] os agregados eram provenientes de resíduos de construção e demolição. Em todos os casos os blocos atenderam aos valores mínimos da norma NBR 6136 [1].

A opção pela areia de descarte de fundição (ADF) como agregado alternativo miúdo em blocos de concreto deve-se ao fato desta conter areia, argila, carvão e material fino, que foram queimados a altas temperaturas e possuem conseqüentemente um índice de atividade pozolânica que permite sua utilização na construção civil.

Para o ano de 2022 a produção anual de materiais fundidos foi na ordem de 2.978.693 toneladas, incluindo a produção de ferro, aço e materiais não ferrosos. Compreendendo um descarte médio de aproximadamente 85% da geração de materiais fundidos, apenas no ano de 2022 o passivo brasileiro corresponde a aproximadamente 2.500.000 toneladas de ADF [6].

Trata-se de um passivo com valores representativos de problema ambiental para o seu descarte correto, pois os custos para envio aos aterros sanitários são elevados, e há vários tipos desta areia que diferem entre si devido aos seus constituintes e meios de geração. Uma

metodologia adequada tanto para a classificação de seus constituintes como para a sua aplicação permite o uso destas areias de descarte de fundição na construção civil, [7,8].

Soma-se ao volume de descarte de ADF os rejeitos de cascalho da extração de areia (RCA), que por apresentar quantidades variáveis para cada tipo e local da extração da areia não há até o momento, no Brasil, dados em relação ao seu volume gerado.

Com isso, uma substituição combinada de areia de descarte de fundição e rejeitos de cascalho da extração de areia na produção comercial de blocos de concreto torna-se uma opção viável, visto que seus teores de combinação atendem a Curva Bresser de granulometria e principalmente contribuem para a diminuição dos passivos destes resíduos que são atualmente pouco reutilizados no Brasil.

Portanto, o objetivo geral deste trabalho foi elaborar blocos de concreto combinando a mistura de agregados contendo areia de descarte de fundição (ADF), como agregado miúdo, e rejeitos de cascalho da extração de areia (RCA), como agregado graúdo, comparando-os a traços de blocos de concretos com areia comum (AC) e RCA. O tipo de bloco escolhido foi do tipo Estrutural Módulo 14 (M14) de classe estrutural e atendimento, mínimo, a Classe C aos 28 dias de idade, conforme a NBR 6136 [1].

Em relação as cargas de ruptura todos os blocos atenderam ao valor mínimo da norma para a classe escolhida inicialmente, porém, os valores obtidos permitiram classificá-los como Classe B que é um bloco de concreto com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo, o que ilustra os benefícios quando da utilização combinada de areia de descarte de fundição e rejeitos de cascalho da extração de areia.

2. Materiais e métodos

Os materiais utilizados neste trabalho foram caracterizados inicialmente em relação a sua composição através dos ensaios de MEV/EDS: cimento Portland CPV-ARI, Figura 1 (a); Agregado miúdo comum, areia média (AM), 1 (b); Agregado graúdo de rejeitos de cascalho da extração de areia (RCA), 1(c); Agregado miúdo de areia de descarte de fundição (ADF), 1 (d).

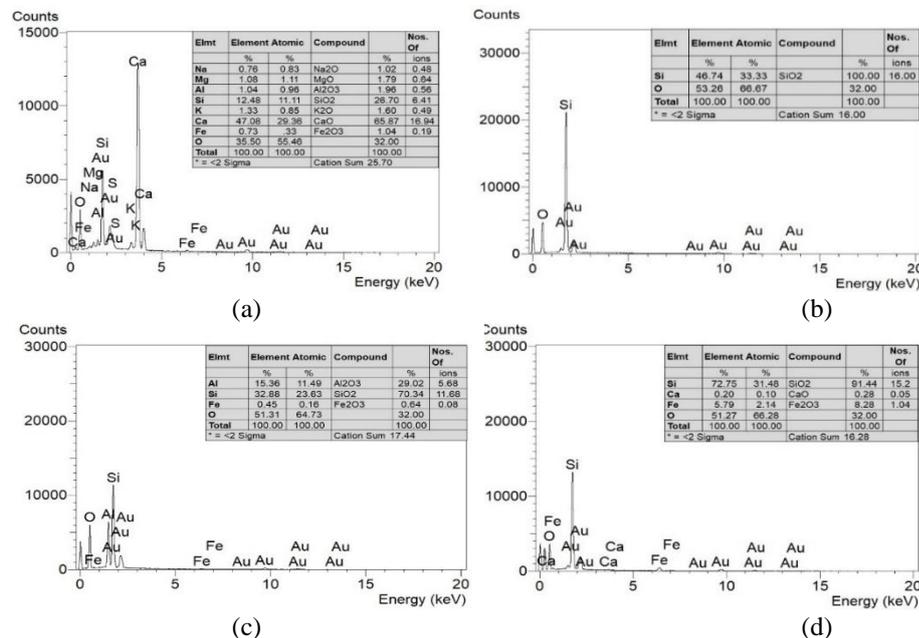


Figura 1 - EDS Cimento Portland CPV-ARI (a), Areia comum - AC (b), Rejeitos de cascalho da extração de areia (c), Areia de descarte de fundição - ADF (d).

Os agregados comuns e alternativos possuem grande quantidade do composto de silício (Si) combinado ao oxigênio resultando no dióxido de silício, sílica (SiO₂) – essencial para a hidratação do cimento e consequente aumento de resistência, quando em conjunto com o CaO,

presente no cimento, na formação do composto C-S-H [9]. Os agregados miúdos têm suas propriedades e características apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades agregados miúdos.

Ensaio	Agregado miúdo	
	Areia comum - AC	Areia de fundição - ADF
Composição Mineralógica	Inócuos: quartzo, minerais máficos Friáveis: fragmentos de rocha alterada	Areia de quartzo fina, moldagem de peças de ferro
Grau de Esfericidade	Alta	Alta
Grau de Arredondamento	Subarredondado	Arredondada
Superfície do Grão	Fosco	Fosco
Módulo de Finura	2,70	1,34
Dimensão Máxima (mm) [10]	1,20	1,20
Massa Específica (g/cm³) [11]	2,60	2,33
Massa Unitária (g/cm³) [12]	1,48	1,52
Absorção de Água (%) [13]	0,19	0,50
Torrões de Argila e Materiais Friáveis (%) [14]	0	0
Teor de Material Passante na Peneira 75 µm (%) [15]	2,85	4,08

A partir destes dados foram determinados os traços de materiais constituintes para os blocos de concreto, conforme a Tabela 2. Os valores apresentados na Tabela 2 referem-se a capacidade do misturador mecânico para a moldagem de cerca de 21 blocos de concreto de 140 x 190 x 390 mm, bloco módulo M14. Todo o processo de mistura dos materiais, moldagem e vibração dos blocos foi realizado mecanicamente, sem nenhuma interferência humana e manual.

Tabela 2 - Quantidade de materiais (kg) para cada traço de bloco de concreto M14.

Traços	Cimento	Rejeito de cascalho (RCA)	Areia de fundição (ADF)	Areia Comum (AC)	Água
13% ADF	16	256	36	-	20
19% ADF	16	238	54	-	20
25% ADF	16	220	72	-	20
13% AC	16	256	-	36	20
19% AC	16	238	-	54	20
25% AC	16	220	-	72	20

Todos os blocos foram mantidos ao abrigo do sol e intempéries durante todo o processo de cura do concreto até a data de ensaio. Nas primeiras 72 horas de cura os blocos permaneceram na câmara de cura, com condições favoráveis de saturação da umidade, sendo posteriormente armazenados em pallets ao ar livre, mas protegidos do sol e das intempéries.

Após a mistura mecânica de todos os materiais o concreto é moldado em fôrmas metálicas através da prensagem e vibração, diminuindo os vazios do concreto. Atribui a este processo de prensagem do concreto e a baixa relação água / materiais secos, a não expansão das partículas de areia de descarte de fundição, conforme foi relatado em outras pesquisas [16].

A Tabela 3 apresenta os teores, em porcentagem, da utilização combinada de areia de descarte de fundição (ADF) e rejeitos de cascalho da extração de areia (RCA), e de areia comum (AC) e RCA, na produção de blocos de concreto M14.

3. Resultados e Discussão

3.1. Propriedades mecânicas e de durabilidade

A norma brasileira para blocos de concretos, NBR 6136 [1], define a idade de 28 dias como o parâmetro principal para a realização dos ensaios de resistência à compressão, análise dimensional

e permeabilidade. Portanto, neste trabalho realizaram-se ensaios para as propriedades de resistência à compressão e análise dimensional para a idade normatizada.

Tabela 3 - Porcentagem de combinação de agregados.

Traços	Rejeito de cascalho (RCA)	Areia de fundição (ADF)	Areia Comum (AC)
13% ADF	87	13	-
19% ADF	81	19	-
25% ADF	75	25	-
13% AC	87	-	13
19% AC	81	-	19
25% AC	75	-	25

Os ensaios de resistência à compressão também foram realizados nas idades de 7, 14 e 21 dias para verificar a evolução de carga de ruptura durante o processo de cura dos blocos.

Entretanto, em relação a moldagem dos blocos de concreto através de uma análise visual foi possível destacar que não há nenhuma diferença, a olho nu, quanto a mistura dos materiais, textura do concreto e aplicação da massa nas fôrmas para todos os traços ensaiados.

Destaca-se também que o processo de moldagem e vibração foi o mesmo utilizado para os blocos de concreto com materiais convencionais e que os mesmos atenderam as recomendações das normas quanto a ter arestas vivas e não apresentar trincas, fraturas ou outros defeitos que possam prejudicar o seu assentamento ou afetar a resistência e a durabilidade da construção, não sendo realizado qualquer reparo para ocultar defeitos eventualmente existentes nos blocos.

Pela análise visual dos blocos também não é possível distinguir nenhuma diferença quanto ao acabamento e textura das paredes, cor do bloco. Antes de serem rompidos à compressão, todos os blocos de concretos, total de seis blocos de cada traço e idades ensaiadas, passaram por verificação superficial e visual do seu aspecto. Os resultados constam na Tabela 4, onde verifica-se que nenhuma amostra apresentou não conformidade.

Tabela 4 - Verificação superficial e visual dos blocos de concreto.

Verificação	Número de não conformidades					
	13% ADF	19% ADF	25% ADF	13% AC	19% AC	25% AC
Trincas	0	0	0	0	0	0
Paralelismo entre as faces	0	0	0	0	0	0
Arestas vivas	0	0	0	0	0	0
Materiais Orgânicos	0	0	0	0	0	0

Para os ensaios de resistência à compressão e posterior classificação de acordo com a NBR 6136 [1] não são considerados os valores de carga de ruptura e calculada uma simples média aritmética, é necessário aplicar a equação da NBR 15812-2 [17] que considera a resistência característica da amostra.

Como foram ensaiados mais de 20 blocos para cada idade e tipo foi considerada a equação:

$$f_{ek} = f_{em} - 1,65 S_n \quad (1)$$

Onde:

f_{em} é a resistência média dos exemplares;

S_n é o desvio-padrão da amostra.

A Tabela 5 apresenta os valores da resistência característica, F_{bk} , nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias para todos os blocos de concreto. Na idade de 28 dias a NBR 6136 [1] permite classificar os blocos em classes conforme sua resistência. A Figura 2 ilustra a evolução da resistência para os traços ensaiados.

Analisando a evolução da resistência nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias não há um comportamento linear de crescimento em relação ao teor de agregado miúdo, ADF ou AC, e a idade de ensaio.

O traço 13% ADF (areia de descarte de fundição) apresentou até os 14 dias de idade uma estabilidade, com evolução de resistência a partir desta data, obtendo a maior resistência entre os traços com areia de fundição, de 4,1 MPa aos 28 dias de idade. Nos demais traços com areia de fundição, 19% ADF e 25% ADF, a evolução foi similar com ambos obtendo 2,6 MPa aos 7 dias e 4,0 MPa na idade de 28 dias.

Tabela 5 - Resistência característica à compressão, Fbk.

Valores de Resistência Característica à Compressão Fbk (MPa)					
Traços	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	Classificação NBR 6136
13% ADF	2,3	2,3	3,4	4,1	Classe B
19% ADF	2,6	2,7	3,0	4,0	Classe B
25% ADF	2,6	2,8	3,2	4,0	Classe B
13% AC	3,6	4,4	4,5	4,6	Classe B
19% AC	3,5	3,6	3,8	4,2	Classe B
25% AC	3,5	3,6	3,8	4,5	Classe B

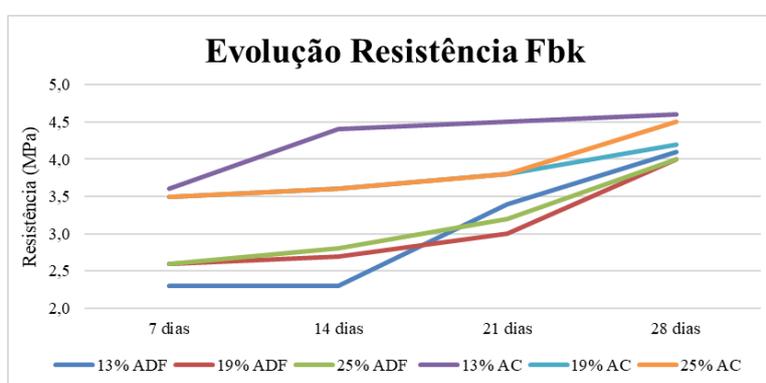


Figura 2 - Evolução resistência característica à compressão, Fbk, 7 a 28 dias.

Os blocos de concreto com agregado miúdo de areia comum (AC) apresentaram as maiores resistências, entretanto, não é possível relacionar esta resistência em razão do teor combinado dos agregados. O traço 13% AC apresentou em todas as idades ensaiadas as maiores resistências, atingindo 4,6 MPa aos 28 dias. Entre 7 e 21 dias os traços 19% AC e 25% AC obtiveram os mesmos resultados, diferenciando-os apenas na idade de 28 dias com 4,2 MPa para o bloco 19% AC e 4,5 MPa para o traço 25% AC.

Todos os blocos de concreto apresentaram aos 28 dias resistência característica à compressão, Fbk, igual ou superior a 4,0 MPa, o que permite classificar todos os blocos, em conformidade com a NBR 6136 [1], independentemente do teor de areia de descarte de fundição (ADF) e de areia comum (AC), como blocos de Classe B com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.

O propósito inicial do trabalho era obter blocos de concreto de Classe C, porém, os valores de resistência obtidos, aos 28 dias de idade, permitem classificar todos os blocos, independentemente das porcentagens e teores de areia de descarte de fundição e de areia comum, em um nível superior, Classe B.

3.2. Viabilidade econômica

Os custos de produção dos blocos de concreto com areia de descarte (ADF) e com areia comum (AC) são apresentados na Tabela 6. Nestes custos não foram considerados os valores para a implantação de uma fábrica de blocos de concretos, como compra de máquinas e equipamentos, terreno e implantação de toda a infraestrutura para o funcionamento da empresa, e sim apenas os

seus custos de produção.

Para a produção do bloco de concreto com ADF não foi considerado o custo da areia de descarte de fundição pois esta matéria-prima é repassada gratuitamente a empresa responsável pela moldagem.

Outro item que não foi considerado na planilha de custo de produção foi o valor do frete do envio da areia de descarte de fundição até a empresa responsável pela moldagem dos blocos, pois como a ADF é um material de descarte a indústria de fundição acaba por fornecer gratuitamente, e sem cobrar o frete, toda a areia de fundição utilizada. Destaca-se também a proximidade entre as indústrias de fundição e de bloco, o que potencialmente o custo não frete não interferiria nos custos de produção.

Tabela 6 - Custo de produção bloco de concreto com Areia de descarte de fundição (ADF) e Areia comum (AC).

I - Custos Diretos e Indiretos		
I.I - Materiais	Porcentagem (ADF)	Porcentagem (AC)
Cimento	17	17
Agregado Graúdo - (RCA)	16	16
Agregado Miúdo - Areia de Fundição (ADF)	0	-
Agregado Miúdo - Areia Comum (AC)	-	2,5
Água	1	1
Subtotal	34	36,5
I.II - Mão-de-obra		
Mão-de-obra	18	18
Subtotal	18	18
I.III - Despesas Indiretas de fabricação		
Energia	5	5
Manutenção	15	15
Subtotal	20	20
Subtotal I - Despesas Diretas	72	74,5
II - Despesas Administrativas		
Administração / Financeiro	18	18
III - Lucro		
Lucro líquido	10	7,5
Total Geral	100	100

A ADF é uma matéria-prima que não necessita de beneficiamento para ser incorporada ao processo de produção dos blocos. Nestas condições o bloco com ADF apresenta um lucro líquido 2,5% maior que o bloco com areia comum – correspondente à porcentagem da areia comum no custo final do bloco. Assim, além do ganho ambiental com a utilização da ADF, há que se considerar também o ganho financeiro para a empresa que produz o bloco.

4. Conclusões

Qualquer que seja a metodologia de aplicação de um resíduo ou de um material alternativo na construção civil já é uma atitude que merece a atenção de estudos e que deve ser incentivada. Quando se consegue integrar ao processo de produção um composto de materiais alternativos provenientes de resíduos que seriam descartados, o ganho é maior e passa a ser compartilhado por toda sociedade, meio ambiente e indústrias envolvidas no processo, tanto as que incorporam os resíduos em seus produtos como as próprias emissoras desses resíduos.

A confecção de blocos de concretos com agregados formados por uma mistura de rejeitos de cascalho da extração de areia (RCA) e areia de descarte de fundição (ADF), atingiu o objetivo inicial deste trabalho que seria a elaboração de blocos de concreto com fins estruturais.

Os rejeitos de cascalho da extração de areia constituem um material descartado nos portos de areia, de grandes dimensões (superiores a 25 mm), formato esférico, e textura lisa. Para as empresas extrativistas não é interessante o seu beneficiamento, mas quando moídos, estes podem

adquirir granulometria e formato similares aos da brita comum, permitindo sua utilização.

A areia de descarte de fundição é um resíduo de difícil descarte, devido ao grande volume de produção, localização de plantas fabris distribuídas em quase todo o país e elevado custo de descarte em aterros sanitários. Porém, o seu uso na construção civil é viável devido a grande porcentagem de sílica em sua constituição. Como se sabe, a sílica possui propriedades pozolânicas benéficas para concretos, argamassas e seus subprodutos.

Todos os traços de blocos de concreto, combinando RCA e ADF, e RCA e areia comum (AC), atenderam a NBR 6136 [1] quanto à análise dimensional, pois as paredes longitudinais e transversais possuem espessura igual ou superior a 18 mm, e à resistência característica à compressão especificada na inicial, que seria para a produção de um bloco com função estrutural, isto é, resistência Fbk superior a 3,0 MPa.

De acordo com os valores obtidos, todos os blocos de concreto foram classificados com função estrutural e utilização em elementos de alvenaria acima do nível do solo, pertencendo a Classe B, conforme a NBR 6163 [1], com Fbk \geq 4,0 MPa.

Não há relação entre o teor combinado de areia de fundição e rejeito de cascalho ou entre areia comum e rejeito de cascalho com os valores de resistência à compressão obtidos com o decorrer dos ensaios. Analisando os resultados deste trabalho não há uma linearidade de tendência de evolução e resistência final, aos 28 dias, em razão da porcentagem de ADF ou AC dos blocos de concreto.

O processo de produção dos blocos de concreto, via prensagem e vibração, combinada com a baixa relação água / materiais secos contribui para a não ocorrência de expansão de partículas de areia de descarte de fundição que poderia deformar o produto e impedir sua aplicação.

A economia gerada pelos blocos de concreto com areia de descarte de fundição é significativa, pois a ADF é um material repassado gratuitamente pela indústria metalúrgica para a empresa responsável pela moldagem dos blocos, e por isso não há o incremento deste agregado ao custo do bloco, permitindo um aumento de 2,5% do lucro do bloco com ADF em comparação ao bloco com areia comum.

Por ser um trabalho pioneiro na combinação conjunta de rejeito de cascalho da extração de areia e areia de descarte de fundição em blocos de concreto, recomenda-se novos estudos em relação a variação de teores destes agregados, mas como atendimento às curvas granulométricas de Besser, para que os blocos obtenham uma maior resistência e consequente melhor classe de uso, e haja a reutilização destes materiais.

O processo apresentado neste trabalho é empregado há mais de cinco anos em uma empresa localizada na região de Campinas, interior do estado de São Paulo-Brasil, e que já produziu mais de 5.000.000 de blocos de concreto com ADF e RCA e reciclou mais de 10.500 toneladas de ADF. Tais números constituem um legado para próximas pesquisas visando a utilização de ADF e RCA não apenas em blocos de concretos, mas em concretos e argamassas também.

Estes resíduos devem se somar a outros materiais alternativos beneficiando não apenas o setor da construção civil, mas toda a cadeia produtiva, pois há a utilização de resíduos antes descartados e principalmente a diminuição da poluição com a extração de materiais da natureza e seu beneficiamento industrial.

Referências

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 6136 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.
- [2] M.A. Campos. Isoladores elétricos de porcelana na construção civil: Propriedades, pesquisa e aplicação. Novas Edições Acadêmicas, 2018.
- [3] A.M. Buttler. Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural. Tese PhD, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil, 2007.
- [4] D.M. Prado. Propriedades físicas e mecânicas de blocos estruturais produzidos com agregados reciclados de concreto. Dissertação M.Sc, Escola de Engenharia de São Carlos da

- Universidade de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil, 2006.
- [5] F.B. Fonseca. Desempenho estrutural de paredes de alvenaria de blocos de concreto de agregados reciclados de rejeitos da construção e demolição. Dissertação M.Sc., Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil, 2002.
 - [6] Associação Brasileira de Fundição (ABIFA). Desempenho do setor de fundição - Dezembro/2022. Dezembro de 2022, 2022.
 - [7] Associação Brasileira de Fundição (ABIFA). Indústria da Fundição: Expectativa de Mercado. Abril de 2018, 2018.
 - [8] S. Chegatti. Areias Descartadas de Fundição. Contexto, Gerenciamento e Impacto. Editora Appris, Curitiba, 2016.
 - [9] A.M. Neville, J.J. Brooks. Tecnologia do Concreto. Bookman, Porto Alegre, 2013.
 - [10] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 7211 - Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2009.
 - [11] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR NM 52 - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
 - [12] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
 - [13] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR NM 30 - Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.
 - [14] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 7218 - Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.
 - [15] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR NM 46 - Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μm , por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.
 - [16] M.A. Campos, L. Passos, A.M. Argollo Ferrão, A.L. Moreno Junior. Areia de fundição e isoladores de porcelana como agregados alternativos em argamassas. In 23° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais - 23° CBECiMat, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2018.
 - [17] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 15812-2 - Alvenaria estrutural - Blocos cerâmicos, Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2010.

ORCID

- M. A. Campos 0000-0002-0905-5476 (<https://orcid.org/0000-0002-0905-5476>)
A. M. Argollo Ferrão 0000-0003-0687-3622 (<https://orcid.org/0000-0003-0687-3622>)
F. A. A. Fernandes 0009-0009-9323-7712 (<https://orcid.org/0009-0009-9323-7712>)

Influence of migrating inhibitor concentration on corrosion resistance of steel reinforcement in concrete

Influência da concentração de inibidor migratório na resistência à corrosão do aço no concreto

A. F. Theiss^a, C. Effting^a, A. Schackow^{a†}

^a *State University of Santa Catarina (UDESC), Center of Technological Sciences, Department of Civil Engineering, Civil Engineering Postgraduate Program, 200 Paulo Malschitzki Street, 89219-710, Joinville, Santa Catarina, Brazil*

[†] *Corresponding author: adilson.schackow@udesc.br*

ABSTRACT

To increase the service life and durability of reinforced concrete structures, new technologies have been developed, such as cathodic protection, re-alkalinization, chloride extraction, and the use of corrosion inhibitors. This study evaluated the influence of cement type, concrete cover thickness, and the addition of organic migrating corrosion inhibitor (MCI) on the corrosion resistance of the embedded steel in concrete against the induced action of chloride ions. To accomplish this, corrosion tests were carried out using electrode potential techniques simultaneously with acceleration cycles of chloride attack. Four mixtures with two levels of reinforcement cover (25 and 40 mm) were subjected to 30 weekly cycles of chemical attack: a reference mixture (without inhibitor) and three others adopting concentration levels of 0.30%, 0.45%, and 0.60% of MCI in the volume of concrete. The concrete properties (compressive strength, voids, specific gravity, and water absorption by immersion and capillarity) were verified. In the corrosion tests on reinforced concrete with lower cover thickness, the mixture with 0.60% MCI addition showed the best results: corrosion potential values less negative than -200 mV, with less than 10% probability of corrosion.

RESUMO

Para aumentar a vida útil e durabilidade das estruturas de concreto armado foram desenvolvidas novas tecnologias como a proteção catódica, re-alkalinização, extração de cloreto, e o uso de inibidores de corrosão. Este estudo avaliou a influência do tipo de cimento, espessura do revestimento de concreto e adição de inibidor de corrosão orgânico migratório (MCI) na resistência à corrosão do aço embutido no concreto contra a ação induzida de íons cloreto. Para isso, foram realizados ensaios de corrosão utilizando técnicas de potencial de eletrodo simultaneamente com ciclos de aceleração de ataque de cloretos. Quatro misturas com dois níveis de cobertura do aço (25 e 40 mm) foram submetidas a 30 ciclos semanais de ataque químico: uma mistura de referência (sem inibidor) e outras três adotando níveis de concentração de 0,30%, 0,45% e 0,60% de MCI em volume de concreto. As propriedades do concreto (resistência à compressão, índice de vazios, massa específica e absorção de água por imersão e capilaridade) foram verificadas. Nos ensaios de corrosão em concretos armados com menor espessura de revestimento, a mistura com adição de 0,60% de MCI apresentou os melhores resultados: valores de potencial de corrosão inferiores a -200 mV, com probabilidade de corrosão inferior a 10%.

Keywords:

Reinforced concrete;
Steel corrosion;
Migrating corrosion
inhibitor; Chloride
attack.

Palavras-chave:

Concreto armado;
Corrosão do aço;
Inibidor migratório
de corrosão; Ataque
de cloretos.

1. Introduction

Steel corrosion is one of the main forms of deterioration of reinforced concrete structures. Due to their exposure and communication with the environment, over time, with the advancement of this process, the structures become susceptible to their stability decrease and life span reduction [1, 2].

In the United States the total direct economic impact of corrosion costs attributable to concrete structures, concrete highway bridges, parking garages, retaining walls, tunnels, etc., was measured about US\$ 480 billion (for the years 2010 and 2011) [3]. An important factor regarding the durability of materials is their relationship closely with sustainability, so that the preservation of natural resources can be made using more durable materials.

According to Figueiredo [4], the corrosion deals with the degradation of materials by the chemical or electrochemical action of the environment into which the structure is located. That is, when the local atmosphere is ranked as aggressive, the reinforcement corrosion becomes especially worrisome, because the conditions are conducive to the ingress of contaminated fluids through the pores of the concrete cover [5].

Overall, according to Sousa [6], the corrosion results in a significant additional cost, either to replace the corroded material or to compensate the indirect losses such as the need for maintenance and production stoppage. In relation to the steel reinforcement of a concrete structure, the corrosion — in addition to deteriorating the mechanical properties — results in the formation of a bulky product (iron oxides and hydroxides); which, by pressing the concrete cover, can cause cracks or even detachment from that layer.

To enhance the durability of concrete structures, new technologies have been developed that are complementary to concrete quality, such as corrosion inhibitors [7-9] which are a good alternative to steel protection against corrosion, presenting low cost and easy application [10, 11]. The study of Wang *et al.* [12] showed that the hybrid uses of hydroxyl carbon nanotubes and polyvinyl alcohol modifiers as additives to improve the corrosion resistance of rebars in concrete.

Currently, at civil construction, one of the classes of inhibitors that stand out are the migrating corrosion inhibitors (MCI). Studies have verified that this type of organic inhibitor (based on amine carboxylate) is effective to retard and inhibit corrosion of steel bar in concrete. MCIs migrate through the concrete pores and provide corrosion protection for the steel reinforcement by forming a passive layer on its surface [13-17]. According Goyal [18] all specimens treated with corrosion inhibitors showed reduced corrosion rate compared to the control specimens. Organo-functional based inhibitors showed most efficient inhibitor efficiency and barrier properties [18].

Some advantages for corrosion inhibitors: convenient application; lower cost; multiple alternatives; inhibitors are available towards different corrosion mechanism. Some disadvantages for corrosion inhibitors: high requirement of penetrability when applied on the hardened concrete surface; dosage is crucial otherwise it will backfire sometimes [19].

The cover depth and crack width are important in the corrosion process of steel in reinforced concrete. Concrete specimens with cover of 45 mm were more effective to slow down the corrosion rate of steel [20].

This research has the concern to extend the life span of the structures located in aggressive environments. For this, besides the quality control of the concrete, it was proposed the use of a migrating corrosion inhibitor as an admixture in the fresh concrete. Therefore, the objective of this experimental study was to assess the development of steel corrosion in concrete against the induced action of chloride ions when this system is under the influence of various MCI concentrations and different reinforcement cover thicknesses.

2. Materials and Methods

2.1. Materials

The materials used in the tests and the preparation of the reinforced concrete specimens were: Portland cement (CPII F 40); river sand and gravel (gneiss) as natural fine aggregate and coarse

aggregate, respectively; water from the public dealership; and CA-50 steel bars with diameter of 10 mm and length of 300 mm. An amine carboxylate based migrating inhibitor was added to the concrete during its production and a salt solution of sodium chloride (NaCl 6%) was employed to accelerate the chemical attack.

2.2. Preparation of steel bars

The preparation of the steel surface was performed by a cleaning procedure that removes the oxides present in the bars, per Practice ASTM G1-03 [21], in both before and after the corrosion tests. The steel bars were immersed in 1:1 hydrochloric acid solution with 3.5 g/L hexamethylenetetramine for ten minutes. After this time, the bars were washed with water in abundance and cleaned with a wire brush (Figure 1a) to extract all the corrosion products.

Then the bars were immersed in acetone, for two minutes, to ensure a quick drying (Figure 1b). After preparation, all bars were individually weighed and then each end coated with electroplater's tape to delimit the area that the aggressive agent will attack (Figure 1c).



Figure 1 - Washing and brushing of steel bars (a), bars immersed in acetone for quick drying (b), and corrosion area delimitation with electroplater's tape (c).

2.3. Prismatic molds manufacturing

The molds for the reinforced concrete specimens were produced with waterproof marine plywood of 10 mm, per Standard Method ASTM G109 [22]. A total of 16 molds for a specimen size of $280 \times 150 \times 115$ mm were produced. To position the bars in the molds as well as to prevent its movement during molding, holes of the same diameter of the bars were drilled on both vertical sides. Before concreting, the molds were lightly greased with a release agent to prevent the adhesion of fresh concrete, thus making the unmolding process easier. Then, the steel bars were placed into the holes intended for them, as parallel to each other as possible.

2.4. Definition of independent variables

To accomplish the aforementioned objectives, the following variables were defined in the experiment: concentration of migrating corrosion inhibitor and concrete cover thickness. The determination of the inhibitor concentration was done by adopting the manufacturer's recommended concentration: 0.60% (in relation to concrete volume) as high level of MCI addition. For the low and medium levels were established concentrations of 0.30% and 0.45%, respectively. These values were not too distant to obtain greater precision in the results, aiming reduce the cost and increase the efficiency of the product.

The concrete cover was evaluated on two levels: 40 mm, according to the environmental aggressiveness Class III, which is rank as strong, adopted in this work and described by the Standard NBR 6118 [23]; and 25 mm, recommended by the Standard ASTM G109 [22] to facilitate the corrosion observation.

2.5. Concrete manufacturing

The concrete mixtures were made in accordance with Standard NBR 5738 [24]. The concrete mixture proportions were performed by using the methodology of the Technological Research Institute of the State of São Paulo (IPT/USP). To evaluate the workability, concretes were characterized by their slump, as Standard NBR 8953 [25], considering conventional launching for structural elements in the order of 100 mm with a variation of ± 2 mm.

The design compressive strength was established in accordance with Standard NBR 6118 [23], adopting an environmental aggressiveness Class III, considered strong, in marine or industrial environment, and with a big risk of deterioration caused by corrosion. This standard also relates the environmental aggressiveness Class III to a reinforced concrete of Class C30. The standard NBR 8953 [25] ranks this Class C30 concrete to the group of resistance I, defining a design compressive strength of 30 MPa.

Four concrete mixtures were manufactured varying the MCI concentrations (0%, 0.30%, 0.45% and 0.60%). The mixture proportion (by mass) to the reference concrete M1 (without corrosion inhibitor) and to the concrete M2 (with low MCI concentration) was 1 : 1.701 : 2.355 : 0.484 (cement: sand : gravel : w/c ratio).

Concrete mixtures with medium and high MCI concentrations (M3 and M4, respectively) had a small variation in relation to M1 and M2 due to the consistency correction of the concrete mixture, which was influenced by the moisture of the sand, at the manufacturing day. Thus, the mixture proportion (by mass) was 1 : 1.494 : 2.17 : 0.484. The final proportions of the materials to produce 35 liters of concrete, for each mixture, are shown in Table 1.

Table 1 - Materials proportions and mixtures designation.

Mixture	Cement (Kg)	Sand (Kg)	Gravel (Kg)	Water (Kg)	MCI (ml)
M1 Reference Concrete with CII F 40	15.33	26.09	36.11	7.42	–
M2 Concrete with CII F 40 and 0.30% of MCI	15.33	26.09	36.11	7.42	10.50
M3 Concrete with CII F 40 and 0.45% of MCI	16.36	24.44	35.57	7.92	15.75
M4 Concrete with CII F 40 and 0.60% of MCI	16.36	24.44	35.57	7.92	21.00

2.6. Properties of concrete

To verify the concrete properties, the following tests were carried out: consistency of fresh concrete by Standard NBR NM 67 [26]; compressive strength by Standard NBR 5739 [27]; water absorption by capillarity as per Standard NBR 9779 [28]; and determination of absorption by immersion, voids, and specific gravity by Standard NBR 9778 [29]. For this, a total of 40 cylindrical specimens 100×200 mm (diameter and height) were produced as recommended by standard NBR 5738 [24], with 10 cylindrical specimens for each mixture: six for the compressive strength test; two for the absorption test by capillarity; and two for the absorption and voids test.

2.7. Corrosion evaluation: electrochemical and non-electrochemical tests

Corrosion tests were performed by means of electrochemical and non-electrochemical methods on prismatic specimens of reinforced concrete, which were made in the laboratory as described in Standard G109 [22]. For this research, a total of 16 prismatic specimens of $280 \times 150 \times 115$ mm were produced, with four specimens for each mixture: two with 25 mm cover thickness; and other two with 40 mm. To perform the tests, it was necessary to couple a plastic dam to the top surface of each prismatic specimen, where a salt solution containing aggressive agent was inserted, as described in Standard ASTM G109 [22].

The electrode potential technique, outlined in Figure 2, was based on the Standard ASTM C876 [30], where the potential difference measurements between the working electrode (reinforcement) and a reference electrode (for this work a copper sulfate electrode) are carry out with the help of a high impedance voltmeter. The technique presents a standard procedure for the evaluation of corrosion phenomenon, as in Table 2, through a correlation between potential intervals and the probability of its occurrence.

To accelerate the corrosion process, the specimens were submitted to semi cycles of drying and of exposure to salt solution in accordance with Test Method ASTM G109 [22]. The volume of this solution was 400 ml of sodium chloride (NaCl 6%). The specimens were exposed to chloride ions attack for 3 days. Then, the solution was drained from dam, and the potential measurements were made. Thereafter, the drying procedure was carried out for 4 days. This cycle was repeated for 30 weeks.

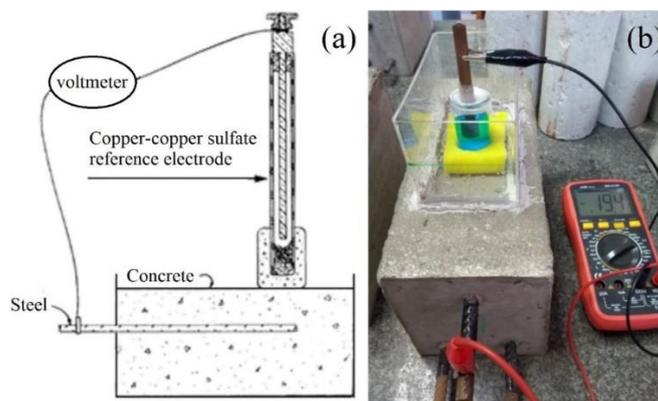


Figure 2 - Detailed scheme for electrode potential measurements (a) and system assembly in the laboratory (b). Adapted from Test Method ASTM C876 [30].

Table 2 - Evaluation of corrosion potential. Adapted from Test Method ASTM C876 [30].

Potential (mV)	Corrosion Probability	Analysis
More positive than -200mV	< 10%	No corrosion
Between -200mV and -350mV	Uncertain	Evidence of corrosion
More negative than -350mV	> 90%	Active corrosion

A copper-copper sulfate reference electrode (Figure 3a) was produced to perform the corrosion potential tests as described in Test Method ASTM C876 [30]. For this, the necessary materials were: a) solid copper rod of diameter and length greater than or equal to 6 mm and 50 mm, respectively; b) saturated solution of copper sulfate; c) a glass tube with an internal diameter greater than or equal to 25 mm with a glass plate, or a thin porous plug attached to one end; d) plastic paraffin film with paper to seal the top of glass tube; and e) simple sponge, used as electrical junction device, pre-wetted with a low electrical resistance contact solution (neutral household detergent diluted with potable water).

The reference electrode assembly was accomplished by filling three quarters (3/4) of the glass tube with the saturated solution of copper sulfate and by placing the copper rod inside the tube without touching the sides or bottom. To seal the electrode as well as to fix the rod, the plastic paraffin film was applied at the top of tube. Moreover, at the bottom, it was placed the sponge pre-wetted with dilute detergent, as shown in Figure 3b. This saturated sponge provides a low electrical resistance liquid bridge between the surface of the concrete and the reference electrode.

After the end of the cycles of chemical attack and potential measurements, the prismatic specimens were broken in a hydraulic press for the compressive strengths evaluations and the upper steel bars were removed for the determination of gravimetric corrosion rate and for the visual analysis with an optical microscope. The bars were cleaned by the same procedure that was used on specimens' preparation, with the care to remove only corrosion products without significant removal of base steel, ensuring an accurate determination of the mass loss, as described in Practice ASTM G103 [22]. With a microscopic examination (with 6.3× zoom), the adequate removal was confirmed. This examination also revealed the extent of corrosion damage, observing the effects of the corrosion penetration caused by pitting-type corrosion.

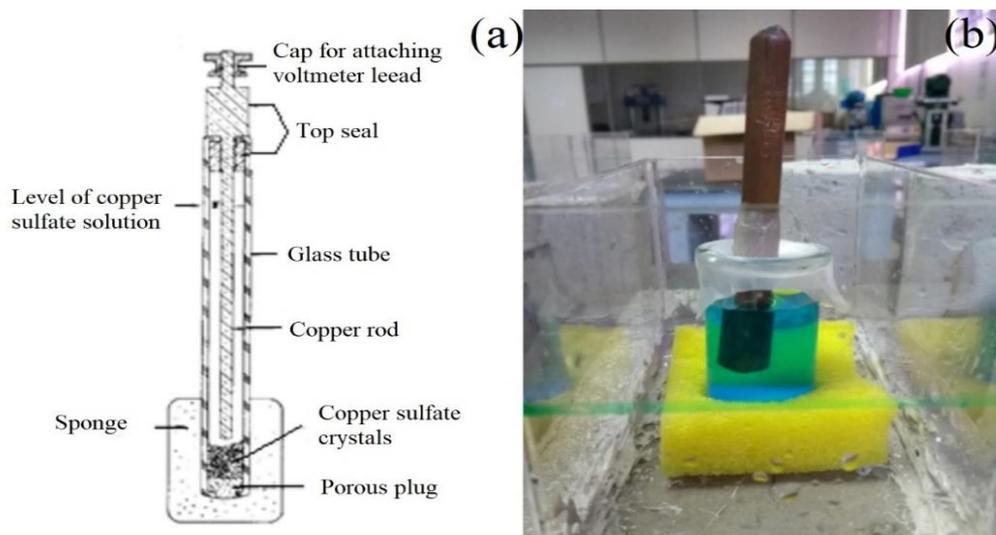


Figure 3 - Detailed scheme of the copper-copper sulfate reference electrode. Adapted from Test

Method ASTM C876 [30] (a) and electrode assembly in the laboratory (b).

After cleaning, the steel bars were again weighed to determine their mass loss during the corrosion test period. According to Ribeiro [31] and the Practice ASTM G1-03 [22], the gravimetric corrosion rate (CR) may be obtained as follows:

$$CR = (K \times W) / (A \times T \times D) \tag{1}$$

where:

K = a constant, for millimeters per year (mm/y) as CR unit desired, $K = 8.76 \times 10^4$;

W = mass loss in grams (g);

A = area (cm²), for this study 20 cm²;

T = time of exposure in hours (h), for this study 5,040 hours (210 days); and

D = density in g/cm³, for CA-50 Steel, $D = 7.85$ g/cm³.

The Standard Practice NACE SP0775 [32] ranks the uniform corrosion rate, according to its corrosivity, as shown in Table 3.

Table 3 - Corrosivity classification. NACE SP0775 [32].

Uniform corrosion rate (mm/y)	Pitting corrosion rate (mm/y)	Corrosivity
< 0.025	< 0.13	Low
0.025 – 0.12	0.13 – 0.20	Moderate
0.13 – 0.25	0.21 – 0.38	High
> 0.25	> 0.38	Severe

To estimate the corrosion inhibition efficiency of steel in concrete specimens with various MCI concentrations, a method adapted by Bolina [33] was used. The percentage of efficiency, E_f , of each situation was estimated based on the values of gravimetric corrosion rate (system corrosion rate without inhibitor, T_s , and with inhibitor, T_c), obtained by mass loss of the steel bars, during the period of corrosion tests. The following relation was used:

$$E_f = [(T_s - T_c) / (T_s)] \times 100 \tag{2}$$

3. Results

3.1. Examination of the concrete properties

3.1.1. Compressive strength

Figure 4 shows the compressive strength values found for each specimen as well as its average and standard deviation. It can be observed that all the mixtures reached values greater than the design compressive strength of 30 MPa. Mixtures with different inhibitor contents presented very close average values of compressive strength when compared to the reference concrete.

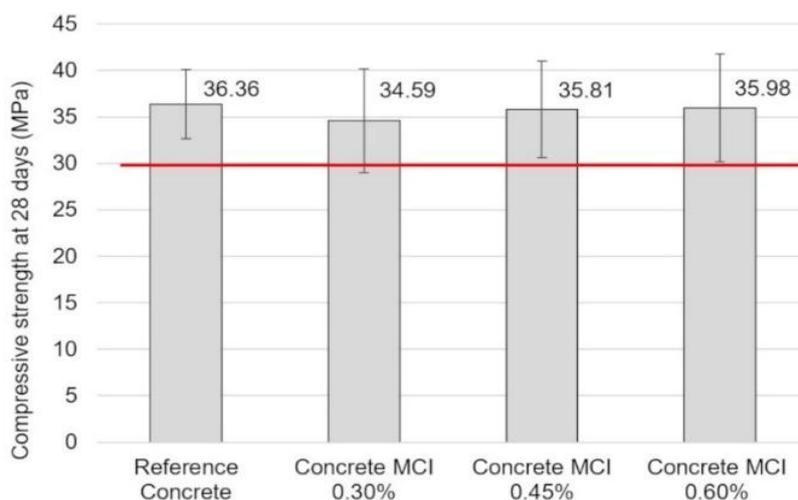


Figure 4 - Average compressive strength of mixtures at 28 days.

3.1.2. Absorption, voids and specific gravity

By comparing the results for each mixture from Table 4, the concrete with 0.60% MCI stood out, because it presented the lower average values of absorption by immersion, 5.551%, and of voids, 12.594%, what avoided the chloride ions penetration; since these factors are directly related to the transport rate of aggressive agents into the concrete. According to Silva [34], the amine-based corrosion inhibitor can absorb part of the mixture's water or react in some way with the silicates present in the cement paste, reducing the absorption and voids.

The physical properties of the other concretes with MCI, in lower concentrations, presented worse results than the reference concrete. The concrete with 0.30% MCI obtained the highest values of absorption and voids, 6.560% and 14.609%, respectively, and the smallest value of average compressive strength, 34.59 ± 5.59 MPa. Therefore, there is the need for the correct dosage of the inhibitor to maintain or even improve these physical properties.

The specific gravities showed very small variations with the addition of different inhibitor concentrations. However, in general, it can be stated that the addition of 0.60% of MCI provided a higher density of concrete due to a higher dry specific gravity (2.272 g/cm³) and smaller specific gravity (2.600 g/cm³).

Table 4 - Average values of water absorption by immersion, voids, and specific gravity.

Mixture	Absorption by immersion (%)	Voids (%)	Specific gravity (g/cm ³)	Saturated specific gravity (g/cm ³)	Dry specific gravity (g/cm ³)
M1 Reference Concrete	6.059	13.692	2.618	2.397	2.260
M2 Concrete with MCI 0.30%	6.560	14.609	2.608	2.373	2.227
M3 Concrete with MCI 0.45%	6.167	13.836	2.604	2.382	2.244
M4 Concrete with MCI 0.60%	5.551	12.594	2.600	2.398	2.272

The data given in Table 5 shows the average capillary absorption was smaller for the 0.60% MCI-treated concrete throughout the test time. For Helene [35], this occurs when the concrete capillaries have smaller diameters and are less intercommunicable. This result was also confirmed by the smaller value of average voids obtained for this mixture. The highest capillarity coefficients were observed for concrete with 0.30% MCI.

Table 5 - Average values of water absorption by capillarity.

Mixture		Absorption by capillarity (g/cm ²)				
		Time (hours)				
		3 h	6 h	24 h	48 h	72 h
M1	Reference Concrete	0.461	0.588	1.052	1.263	1.398
M2	Concrete with MCI 0.30%	0.484	0.629	1.126	1.364	1.520
M3	Concrete with MCI 0.45%	0.450	0.597	1.053	1.282	1.423
M4	Concrete with MCI 0.60%	0.438	0.569	1.022	1.252	1.389

3.2. Evaluation of steel corrosion

3.2.1. Corrosion potential measurements

In the graphical representation of the corrosion potential measurements, for the tested specimens, the electrode potential (mV) was graphed as a function of the chemical attack induction cycles (weeks), considering the four concrete mixtures (M1, M2, M3, and M4) and the two thicknesses of concrete cover, 25 mm and 40 mm, as shown in Figures 5 and 6.

From the graph in Figure 5, plotted for a 25 mm concrete cover, it was possible to verify that the potential readings of the test specimens M1, M2 and M3 reached values more negative than -350 mV, according to the progress of the cycles. Which indicate a probability greater than 90% of corrosion occurrence, that is, in these mixtures occurred the depassivation of the reinforcement and the onset of the corrosion, ASTM C876 [30]. The M4 mixture with 0.60% MCI addition, concentration indicated by the manufacturer, showed no signs of corrosion and its potential measurements were more positive than -200 mV; remaining in the range of less than 10% probability of steel corrosion throughout the test period.

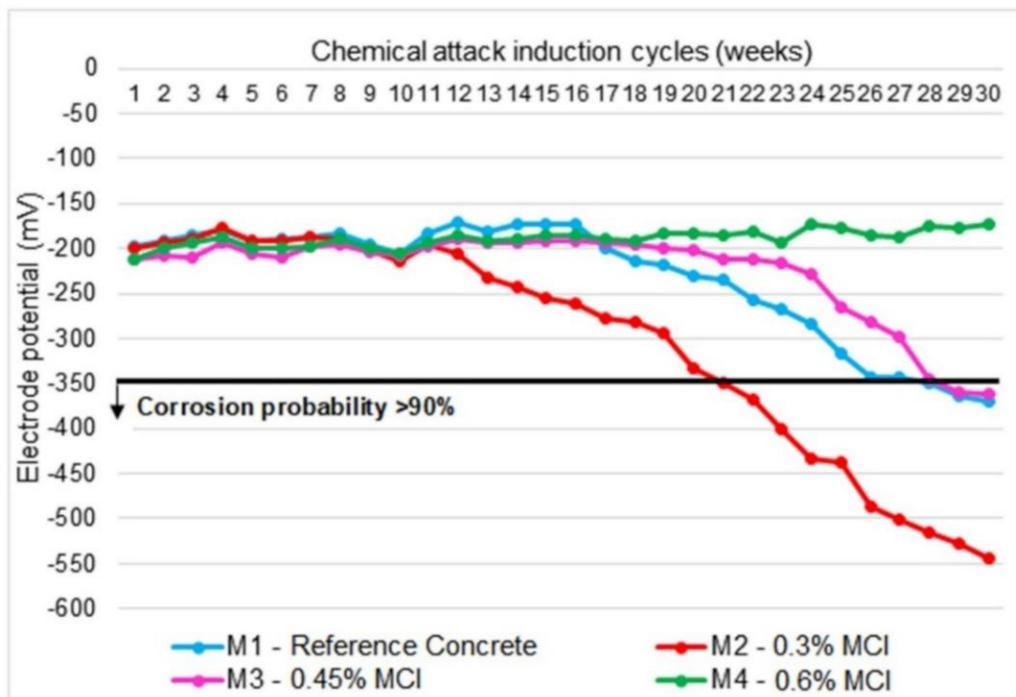


Figure 5 - Average electrode potential readings for 25 mm of concrete cover.

Analyzing the three mixtures that developed corrosion, it can be reported that the mixture M2 was the first one to present the depassivation of the reinforcement and the onset of the corrosive process, in the 21st week of cycles. Thus, there is an inhibition inefficiency of the 0.30% MCI concentration that was added to concrete. The M1 and M3 mixtures crossed the threshold of -350 mV a little later, in the 28th week of cycles; indicating a greater capacity of preservation of the potentials, but not totally effective.

In the graph of Figure 6, the electrode potential measurement curves were drawn for the same mixtures, but with 40 mm concrete cover. In this chart, the mixtures M3 and M4 presented potential measures corresponding to an area of less probability of corrosion, where the values are more positive than -200 mV, ASTM C876 [30]. By increasing the cycles of induction of chemical attack, M1 and M2 tended to make results in the range of -200 to -350 mV, where the corrosion activity of the reinforcing steel is uncertain. Thus, with the prolongation of the period of testing, it would be possible to better visualize the corrosion development in the specimens with greater thickness of concrete cover.

Due to this higher concrete cover, the results in Figure 6 were less negative than those in Figure 5. The concrete cover over the reinforcement provides a physical protection to the steel, making difficult the ingress of aggressive ions of the environment, like the chlorides [35-37]. Therefore, in addition to the protection provided by the inhibitor, the depth of 40 mm concrete cover also acted to improve the corrosion resistance of the steel in relation to mixtures with 25 mm concrete cover.

3.2.2. Gravimetric corrosion rate

The graphs of Figures 7a–b allows a clearer view of the relationship between the average corrosion rate at the end of the cycles and the inhibitor content added to the mixtures. In both graphs, the curves show the highest corrosion peak for the mixture with 0.30% MCI addition and the lowest for the 0.60% MCI mixture. The concretes of reference and with 0.45% MCI addition had close values; nevertheless, the M3 concretes outcomes were better.

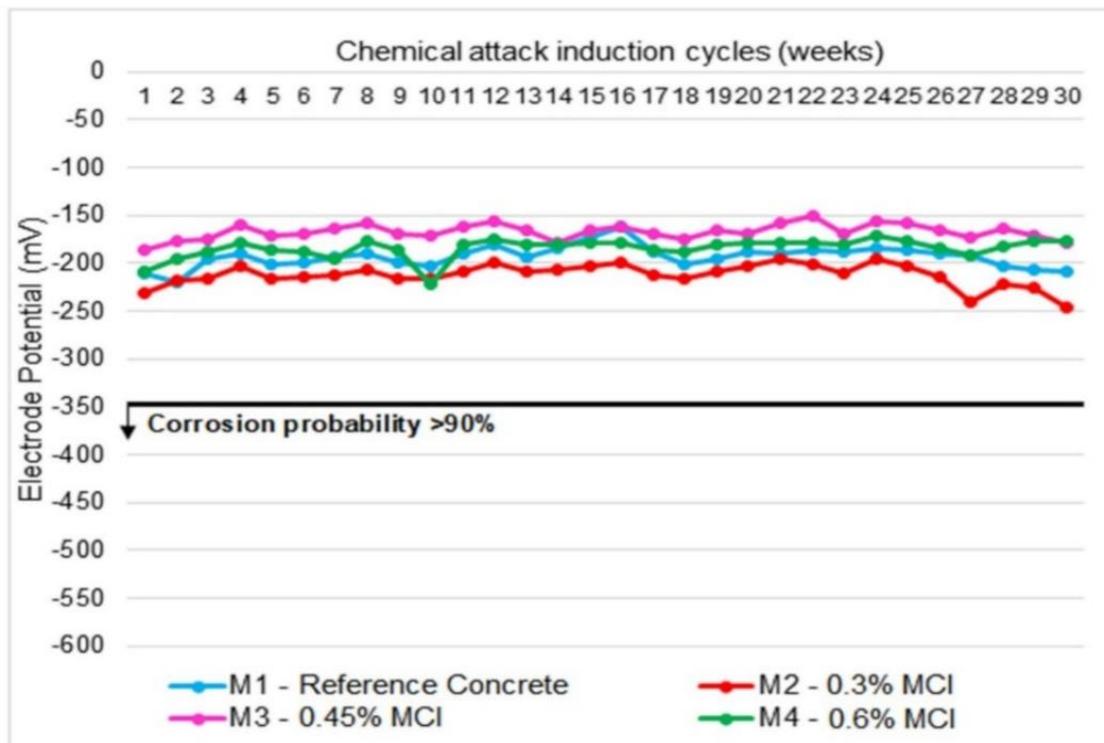


Figure 6 - Average electrode potential readings for 40 mm of concrete cover.

The concrete cover represents the main factor for the distinction of the graphs. The corrosion rate values of first one, Figure 7a, were higher when compared to the values in the

second graph, Figure 7b; considering all mixtures. It is noticeable that concrete cover thickness exerted a critical influence on corrosion inhibition, since the thicker cover provided better protection against the corrosive process. For this study, the MCI was incorporated into fresh concrete as an admixture rather than applied on hardened concrete as a surface treatment.

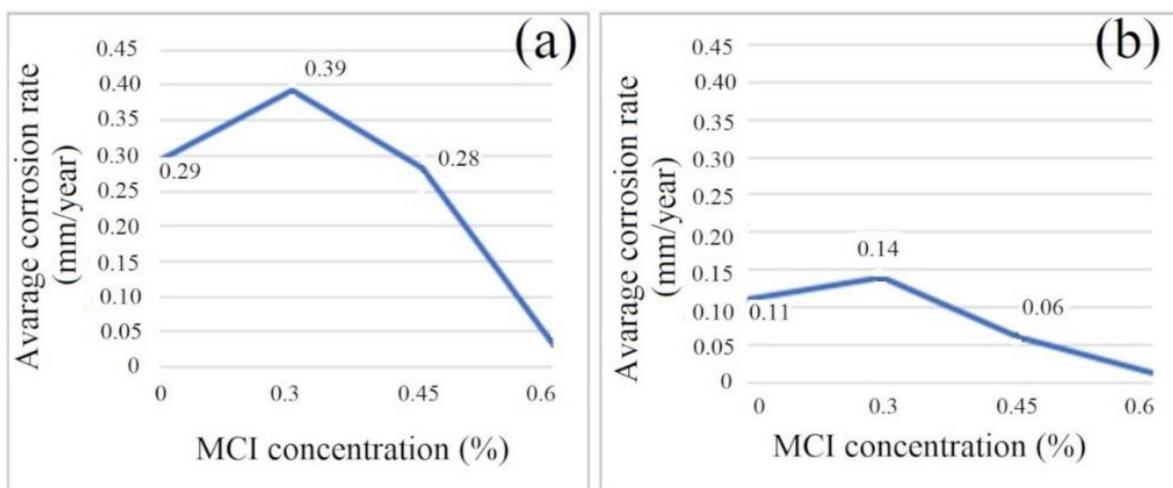


Figure 7 - Average corrosion rate versus MCI concentration, for concrete cover of 25 mm (a) and 40 mm (b).

3.2.3. Inhibition efficiency

Table 6 shows the values of corrosion protection efficiency of steel for the MCI treated specimens, which were attacked by chlorides; considering the results obtained using the corrosion rate technique. From this Table, the dosage with the highest inhibition efficiency was that with 0.60% MCI concentration, with percentage values of 88.68% and 90% for 25 mm and 40 mm concrete cover respectively. The 0.45% MCI content had a low performance in corrosion protection of steel, with an average efficiency of 45% for the thicker cover. For the less thick (25 mm), the result was almost nil. The 0.30% MCI addition did not achieve any inhibition efficiency, as already noticed herein in the other tests.

Nóbrega [38] and Silva [34] explain that corrosion inhibitors for concrete have an optimal point of addition and that, for values above or below this concentration, they may have an inverse behavior: that is, acceleration of the corrosive process instead of mitigation. Their results about corrosion show the importance of the careful analysis in the specification of this type of chemical admixture.

Table 6 - Inhibition efficiency for various MCI concentrations.

MCI content (%)	Concrete Cover (mm)	Inhibition Efficiency (%)
0.30	25	0.00
	40	0.00
0.45	25	3.77
	40	45.00
0.60	25	88.68
	40	90.00

3.2.4. Visual inspection of the steel bars

All top bars of the specimens were examined, in which measurements of the electrode potential and the gravimetric corrosion rate were also carried out. According to Cascudo [36], a variety of corrosion products can be found in CA-50 steel when the attack occurs by chlorides, such as: Lepidocrocite (γ -Fe(OH)), Akaganeite (β -FeO(OH)), Goethite (α -FeO(OH)), Maghemite (γ -Fe₂O₃) and Erithrossiderite (K₂FeCl₅.H₂O).

In this visual inspection, characteristic aspects of corrosion were identified in the steel bars that presented the highest corrosion rates, that is, a severe or high corrosion. In Figures 8 to 11, an optical microscope was used to examine, in detail, the corrosion products of these bars.

Figure 8 exhibits the top bar examination of replicate 2 of M1, for 25 mm concrete cover. Its corrosion rate and the last measurement of the electrode potential were 0.343 mm/year and -440 mV respectively.

As depicted in Figure 8a, it was possible to identify several localized corrosions, confirming the results previously obtained. At points 1, 2 and 3 (with 6.3× zoom, see Figure 8b), it can be observed the corrosion pits that, according to Silveira *et al.* [40], are usually cavities of small opening and greater depth, with little or no uniform loss; therefore, very destructive and dangerous.

According to the authors, the general cause of pitting corrosion of metals is the existence of small areas highly anodic in relation to adjacent cathodic areas, what create a local corrosion cell; the so-called "batteries" of corrosion. At point 4, there is a yellowish spot of rust, that is, the formation of the basic products of corrosion: $\text{FeO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ and $\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot \text{FeCl}_3$ [1].

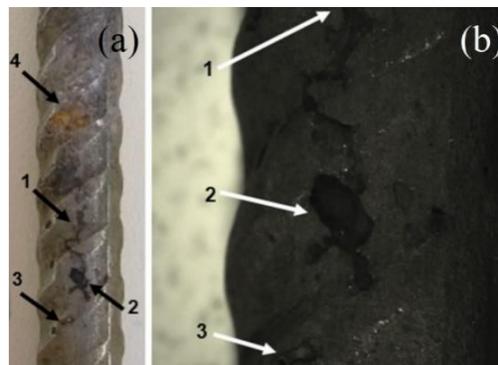


Figure 8 - Aspect of the embedded top bar of replicate 2 of M1, without MCI and with 25 mm concrete cover. No zoom (a); and with 6.3× zoom (b).

Figures 9a and 10a detail the embedded bars of the M2 mixtures (replicates 1 and 2 respectively), for 25 mm concrete cover. Black corrosion products were identified in these bars, which can be a sign of formation of magnetite (Fe_3O_4), according to Bolina [33]. Other reddish orange corrosion products also appear in the dark substrate. In addition, an irregular surface with crusts of corrosion products can be noticed in these Figures.

The corrosion rates and corrosion potential values of these steel bars indicate this deterioration: for the first replicate, 0.421 mm/year and -551 mV respectively; and for the second replicate, a slightly lower rate of 0.365 mm/year and potential of -538 mV. The Points 1 and 2, highlighted in Figure 9a (with 6.3× zoom, see Figure 9b), were cases of pitting corrosion; and at points 1, 2 and 3, in Figures 10a–b, irregularities and cross-section losses have occurred.

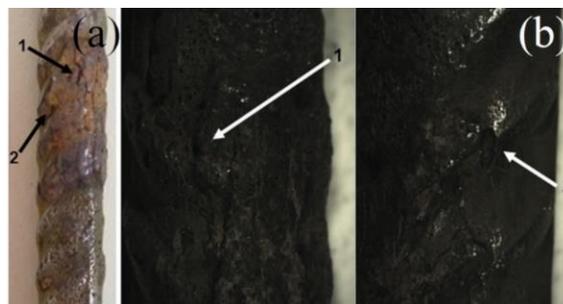


Figure 9 - Aspect of the embedded top bar of replicate 1 of M2, with 0.30% MCI and 25 mm concrete cover. No zoom (a) and with 6.3× zoom (b).

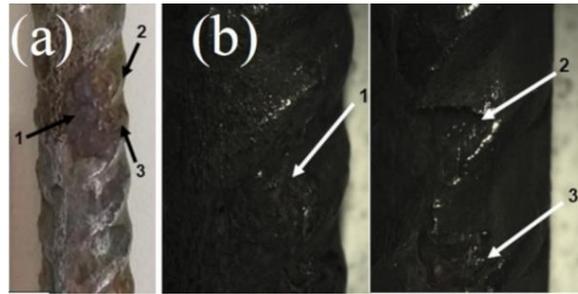


Figure 10 - Aspect of the embedded top bar of replicate 2 of M2, with 0.30% MCI and 25 mm concrete cover. No zoom (a) and with 6.3× zoom (b).

Concerning the system with 0.45% MCI addition, M3 mixtures, the corrosion of the steel bars presented softer aspects; and only in the replicate 1 with a 25mm concrete cover (see Figure 11a). Point 1 indicates a pitting corrosion, and point 2 shows both yellowish corrosion products and irregularities on the steel surface (see Figure 11b). The visual aspect was very pronounced and complied with the performance of the inhibitor used. The results of corrosion potential and electrochemical corrosion rates were -378 mV and 0.332 mm/year respectively.

With the aid of the X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) method, Bavarian and Reiner [39] carried out a chemical analysis of the concrete reinforcement in the presence of an MCI based on amino-carboxylate chemistry. They verified nitrogen peaks on the surface of the steel bars treated with MCI, which did not occur in the untreated bars.

These amine-rich compounds on the steel bars surface were associated with the amine-based inhibitor. Chemical quantification also revealed organic compounds with carboxylate chemistry in these bars. The results showed that both MCI and aggressive agents (chlorides) had migrated in through the concrete pores and had reached the reinforcement, but MCI had formed a protective layer on the steel surface, protecting the rebar. The conclusions were promising in both this study and that of Bavarian *et al.* [13], because the MCI demonstrated a great efficiency in the protection for steel in aggressive environments.

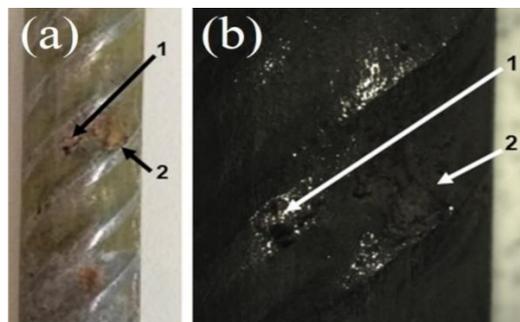


Figure 11 - Aspect of the embedded top bar of replicate 1 of M3, with 0.45% MCI and 25 mm concrete cover. No zoom (a) and with 6.3× zoom (b).

4. Conclusion

Amine-based inhibitor addition proved to be an efficient method for corrosion inhibition of steel in reinforced concrete. It was verified that not all MCI concentrations generated a corrosion protection system, with only the mixture M4 (with 0.60% MCI) demonstrating inhibitory efficiency.

Regarding to physical and mechanical properties of the concretes, the mixture with 0.60% of MCI presented lower values of absorption by immersion and voids (5.55% and 12.59% respectively), as well as lower absorption by capillarity. The reference concrete had the highest average compressive strength (36.36 MPa \pm 3.74) followed by the M4 concrete (35.98 \pm 5.81 MPa).

The electrode potential test allowed the identification of the mixtures and cover thicknesses that performed better in terms of corrosion resistance of the steel. The 0.60% MCI-

treated mixture showed the less negative potential values, remaining in the range where there is less than 10% probability of corrosion throughout the test period.

The M2 mixture (with 0.30% MCI) had the worst performance among all of them, with reinforcement depassivation and the onset of the corrosive process occurring in the 21st week of the cycle. The other mixtures (M1 - reference concrete and M3 - 0.45% MCI) also reached the range where the corrosion probability is greater than 90% but did so later (28th week).

The concrete cover over the reinforcement influenced the corrosion resistance of the steel, providing a physical protection and making it difficult for chloride ions to ingress. The mixtures with a 25 mm cover presented more negative potential values than the mixtures with a 40 mm cover.

The values of the gravimetric corrosion rates (CR) of the steel bars were consistent with the results of the electrode potential readings. The steel bars of M4 mixture had the lowest corrosion rates. This experiment confirmed the higher susceptibility to corrosion of the steel from the M2 mixture (with 0.30% MCI and 25 mm cover), showing severe corrosivity (0.421 mm/year).

M1 and M3 concrete mixtures also showed high corrosivity, reaching values of 0.343 mm/year and 0.332 mm/year respectively. The visual inspection allowed the characterization of some common aspects of the corrosive process in the steel bars that showed higher corrosion rates, such as yellowish and dark spots, pitting and fissures.

According to the results obtained by this research, the appropriate use of corrosion inhibitors (at the optimal point of addition) was demonstrated to be an important tool regarding the prevention or control of the corrosive process. This treatment with MCI admixtures can reduce the need for maintenance as well as increase the lifespan of reinforced concrete structures. However, these inhibitors do not have the function of avoiding the occurrence of corrosion in its entirety, since they are complementary to good construction technique.

References

- [1] V. Gentil, *Corrosion*, 5 ed., LTC, 345pp., Rio de Janeiro, Brazil (2007).
- [2] M. Carsana, F. Canonico, L. Bertolini, Corrosion resistance of steel embedded in sulfoaluminate-based binders, *Cement and Concrete Composites*, 88, 211-219 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.01.014>.
- [3] U. M. Angst, Challenges and opportunities in corrosion of steel in concrete. *Mater Struct* 51, 4 (2018). <https://doi.org/10.1617/s11527-017-1131-6>.
- [4] E.P. Figueiredo, *Corrosion and degradation of materials. In: Building Materials and Principles of Materials Science and Engineering*, Isaia GC (Editor), IBRACON, V1, pp. 377-402, São Paulo, Brazil (2007).
- [5] L. Bertolini, *Building materials: pathology, rehabilitation and prevention*, Text workshop, pp. 414, São Paulo, Brazil (2010).
- [6] C.A.C. de Sousa, *Principles of electrochemical corrosion, In: Ribeiro DV. Corrosion in reinforced concrete structures*, 7 ed., Elsevier, pp. 13-35, Rio de Janeiro, Brazil (2014).
- [7] N. Gartner, T. Kosec, A. Legat, The efficiency of a corrosion inhibitor on steel in a simulated concrete environment, *Materials Chemistry and Physics*, 184, 31-40 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2016.08.047>.
- [8] R. Vedalakshmi, K. Rajagopaland, N. Palaniswamy, Determination of migration efficiency of amino alcohol based migrating corrosion inhibitor through concrete, *Corrosion Engineering, Science and Technology*, 44(1), 20-31 (2009). <https://doi.org/10.1179/174327808x272405>.
- [9] L. Z. Yong, Z. X. Gang, L. X. Lin, Effect of migrating corrosion inhibitor on corrosion rate of reinforcing steel in concrete with various admixed chloride, *Applied Mechanics and Materials*, 204, 3146-3150 (2012). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.204-208.3146>.
- [10] T. A. Söylev, M. G. Richardson, Corrosion inhibitors for steel in concrete: State-of-the-art report, *Construction and Building Materials*, 22(4), 609-622 (2008). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.10.013>.

- [11] J. S. Cai, C. C. Chen, J. Z. Liu, L. Shi, The protection of reinforcing steel in concrete by migrating corrosion inhibitor, *Key Engineering Materials*, 629, 630, 136-143 (2015). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.629-630.136>.
- [12] Z. Wang, J. Yu, G. Li, M. Zhang, C. K. Leung, Corrosion behavior of steel rebar embedded in hybrid CNTs-OH/polyvinyl alcohol modified concrete under accelerated chloride attack, *Cement and Concrete Composites*, 100, 120-129 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.02.013>.
- [13] B. Bavarian, A. O. Alaba, L. Reiner, J. Meyer, *Migrating Corrosion Inhibitors to Protect Steel Reinforced Concrete Structures, Materials performance*, pp. 20–23, St. Paul, Minnesota, USA (2018).
- [14] R. Myrdal, *Corrosion Inhibitors – State of the art*. In: COIN Project Report 22 - 2010, Oslo, SINTEF Building and Infrastructure (2010).
- [15] M. Z. Lourenço, C. A. C. de Souza, *Protective methods and increased durability of reinforced concrete*, In: *Corrosion in reinforced concrete structures* (ed. by Ribeiro DV), 7 ed., pp. 119-170. Elsevier, Rio de Janeiro, Brazil (2014).
- [16] T. Chaussadent, V. Nobel-Pujol, F. Farcas, I. Mabilhe, C. Fiaud, Effectiveness conditions of sodium monofluorophosphate as a corrosion inhibitor for concrete reinforcements, *Cement and Concrete Research*, 36, 556-561 (2006). <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.09.006>.
- [17] F. Bolzoni, A. Brenna, G. Fumagalli, S. Goidanich, L. Lazzari, M. Ormellese, M. P. Pedferri, Experiences on corrosion inhibitors for reinforced concrete, *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition*, 3(4), 254-278 (2014). <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2014-3-4-254-278>.
- [18] A. Goyal, E. Ganjian, H. S. Pouya, M. Tyrer, Inhibitor efficiency of migratory corrosion inhibitors to reduce corrosion in reinforced concrete exposed to high chloride environment." *Construction and Building Materials* 303 (2021): 124461. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124461>
- [19] J. Y. Hu, S. S. Zhang, E. Chen, W. G. Li, A review on corrosion detection and protection of existing reinforced concrete (RC) structures. *Construction and Building Materials* 325 (2022): 126718. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126718>.
- [20] H. Z. Lopez-Calvo, P. Montes-García, V. G. Jiménez-Quero, H. Gómez-Barranco, T. W. Bremner, M. D. A. Thomas, Influence of crack width, cover depth and concrete quality on corrosion of steel in HPC containing corrosion inhibiting admixtures and fly ash, *Cement and Concrete Composites*, 88, 200-210 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.01.016>
- [21] ASTM - American Society for Testing and Materials, G1-03: Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens, United States (2017).
- [22] ASTM - American Society for Testing and Materials G109: Standard Test Method for Determining Effects of Chemical Admixtures on Corrosion of Embedded Steel Reinforcement in Concrete Exposed to Chloride Environments, United States (2013).
- [23] ABNT, Brazilian Association of Technical Standards, NBR 6118: Design of concrete structures – Procedure, Rio de Janeiro (2014).
- [24] ABNT, Brazilian Association of Technical Standards, NBR 5738: Concrete - Procedure for molding and curing concrete test specimens. Rio de Janeiro (2016).
- [25] ABNT, Brazilian Association of Technical Standards, NBR 8953: Concrete for structural use - Density, strength and consistence classification, Rio de Janeiro (2015).
- [26] ABNT, Brazilian Association of Technical Standards, NBR NM 67: Concrete - Slump test for determination of the consistency, Rio de Janeiro (1998).
- [27] ABNT, Brazilian Association of Technical Standards, NBR 5739: Concrete - Compression test of cylindrical specimens, Rio de Janeiro (2018).
- [28] ABNT, Brazilian Association of Technical Standards, NBR 9779: Mortar and hardened concrete - Determination of water absorption by capillarity, Rio de Janeiro (2012).
- [29] ABNT, Brazilian Association of Technical Standards, NBR 9778: Hardened mortar and concrete - Determination of absorption, voids and specific gravity, Rio de Janeiro (2009).

- [30] ASTM - American Society for Testing and Materials, C876: Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, United States (2015).
- [31] D. V. Ribeiro, Influence of the addition of red mud on the properties and corrosivity of reinforced concrete, *Dissertation* (Doctorate in Materials Science and Engineering), Federal University of São Carlos, São Paulo, Brazil (2010).
- [32] NACE - National Association of Corrosion Engineers, Standard SP0775, Preparation, Installation, Analysis and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations (2018).
- [33] C. C. Bolina, Corrosion inhibitors: Performance evaluation against steel corrosion induced by carbonation and chlorides, *These* (Master in Civil Engineering) - Federal University of Goiás, Goiânia, Brazil (2008).
- [34] D. R. da Silva, Study of corrosion inhibitors in reinforced concrete, aiming to improve its durability, *Dissertation* (Doctorate in Materials Science and Engineering) - Federal University of Rio Grande do Norte, Natal, Brazil (2006).
- [35] P. Helene, Contribution to the study of steel corrosion in reinforced concrete, *Dissertation* (Free Teaching) - Polytechnic School, University of São Paulo, São Paulo, Brazil (1993).
- [36] O. Cascudo, *Corrosion Control of Concrete Reinforcement: Inspection and Electrochemical Techniques*, PINI, pp. 233, São Paulo, Brazil (1997).
- [37] A. M. Neville, *Properties of concrete*, 5. ed., Bookman, 888 pp., Porto Alegre, Brazil (2016).
- [38] A. C. V. Nóbrega, Study of recommended corrosion inhibitors for concrete, *Thesis* (Master in Chemistry), Federal University of Rio Grande do Norte, Center for Exact and Earth Sciences, Natal, Brazil (2004).
- [39] B. Bavarian, L. Reiner, "19 - Corrosion protection of steel rebar in concrete using migrating corrosion inhibitors," Editor(s): M. Raupach, In European Federation of Corrosion (EFC) Series, *Corrosion of Reinforcement in Concrete*, Woodhead Publishing, (2007) 239-249. <https://doi.org/10.1533/9781845692285.239>.

ORCID

Ana Flávia Theiss 0000-0001-9862-4628 (<https://orcid.org/0000-0001-9862-4628>)
Carneane Effting 0000-0001-5457-5457 (<https://orcid.org/0000-0001-5457-5457>)
Adilson Schackow 0000-0003-2561-5231 (<https://orcid.org/0000-0003-2561-5231>)

Comissionamento de sistemas prediais: aplicação em uma instalação hidrossanitária de uma cozinha e área de serviço

Commissioning of building systems: application in a hydrosanitary installation of a kitchen and service area

A. de S. Ferreira^a, R.P.A. Reis^b, A.T. Ferreira^{a†}

^a Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo, Brasil

^b Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil

[†] Autor para correspondência: traini@ifsp.com.br

RESUMO

A medida que novas tecnologias e métodos construtivos avançam na construção civil, também surgem grandes desafios. A utilização de sofisticados sistemas de controle contribui para facilitar o gerenciamento do bom desempenho dos sistemas construtivos, equilibrando demanda de insumos básicos e manutenção da viabilidade técnica e econômica dos empreendimentos. Dentre esses insumos empregados nos sistemas construtivos, pode-se destacar os componentes das instalações hidráulicas-sanitárias prediais, que normalmente registram grande parte das solicitações de assistências técnicas no pós-obra. As falhas na concepção dos edifícios podem ter início na má interpretação, por parte da equipe técnica, dos requisitos dos proprietários. A fim de se evitar falhas, retrabalhos e prejuízos, o comissionamento de sistemas prediais surge como alternativa para registro e definições de estratégias de melhorias contínuas de planejamento, concepção e execução. Diante disso, o objetivo deste trabalho é avaliar a aplicação do processo de comissionamento de sistemas prediais, tomando como estudo de caso: uma cozinha e uma área de serviço de uma edificação residencial. Os resultados obtidos contribuem para um melhor entendimento dos protocolos de estabelecimento de ações de comissionamento em instalações hidráulicas prediais, visando aumentar a qualidade de futuros empreendimentos.

ABSTRACT

As new technologies and construction methods advance in construction, great challenges also arise. The use of sophisticated control systems contributes to facilitate the management of the good performance of construction systems, balancing the demand for basic inputs and maintaining the technical and economic viability of the projects. Among these inputs used in the construction systems, we can highlight the components of the building hydraulic-sanitary installations, which usually register a large part of the requests for technical assistance in the post-work. Failures in the design of buildings can begin with the technical team's misinterpretation of the owners' requirements. In order to avoid failures, rework and losses, the commissioning of building systems emerges as an alternative for recording and defining strategies for continuous improvements in planning, design and execution. Therefore, the objective of this work is to evaluate the application of the commissioning process of building systems, taking as a case study: a kitchen and a service area of a residential building. The results obtained contribute to a better understanding of the protocols for establishing commissioning actions in building hydraulic installations, aiming to increase the quality of future projects.

Palavras-chave:

Sistemas prediais hidrossanitários; Comissionamento; Cozinha; Área de serviço; Aplicação do processo.

Keywords:

Hydrosanitary building systems; Commissioning; Kitchen; Service area; Application of the procedure.

1. Introdução

A busca constante por eficiência, tanto no processo de desenvolvimento de projetos quanto na execução de obras é uma realidade entre os profissionais da construção civil. A fim de se evitar retrabalhos e desperdícios, surgem diversos processos gerenciais, dentre eles pode-se destacar o processo de comissionamento. Este processo tem por objetivo gerenciar, documentar as fases do ciclo de vida do empreendimento, treinar os operadores, desde o processo de concepção até a operação dos sistemas prediais e, em uma segunda fase estabelecidos os requisitos de Projeto do Proprietário (OPR's), onde é estabelecidas as principais características e requisitos dos sistemas visando melhorar a qualidade e desempenho dos projetos e execuções de empreendimentos na construção civil [1-2].

Dentre as diversas áreas envolvidas na construção de um empreendimento, os sistemas prediais hidrossanitários devem ter uma atenção especial, principalmente devido ao elevado índice de patologias e registros de solicitações de assistência técnica no pós-obra [3].

Cada vez mais o usuário está a procura de conforto, segurança e eficiência energética. Assim, buscam-se constantemente, novas soluções construtivas, mais eficientes construtivamente, ambientalmente e com desempenho adequado as necessidades dos usuários. Segundo Ishida [4] é necessário que na concepção de um edifício sejam verificados todos os requisitos solicitados pelo proprietário. As falhas na concepção dos edifícios e nos sistemas prediais executados têm início, na maioria das vezes, com a má interpretação, por parte da equipe técnica. Essa falha de comunicação percorre toda a cadeia produtiva do edifício gerando falhas de planejamento, projeto, execução, manutenção e até de operação.

Neste contexto, ressalta-se a importância de estudos realizados sobre a avaliação e os protocolos envolvidos na implantação de processos de comissionamento de sistemas prediais, visando ampliar o conhecimento e divulgação para o meio técnico destes procedimentos que estabelecem ações contínuas de melhoramento da qualidade no sistema construtivo.

1.1. Objectivo

O objetivo deste trabalho é apresentar as etapas principais do processo de comissionamento de um sistema predial e avaliar a aplicação do mesmo a um estudo de caso na avaliação parcial de um sistema hidrossanitário de uma cozinha e uma área de serviço de um apartamento de uma edificação residencial e desta maneira avaliar os potenciais benefícios deste processo.

2. Materiais e métodos

Para melhor compreensão do tema, este tópico foi dividido em: Sistemas Prediais Hidrossanitários, Comissionamento de Sistemas Prediais e Estudo de Caso.

2.1. Sistemas Prediais Hidrossanitários

A importância dos sistemas prediais na construção civil não está apenas relacionada à higiene pessoal e saúde, mas também, com as noções de conforto impostas por um dinâmico comportamento social [5].

De acordo com Júnior [6] o projeto hidrossanitário com informações e detalhamentos suficientes para a sua correta execução é indispensável ao bem construir, pois evita inúmeros erros na montagem das instalações e problemas futuros em sua operação.

Os sistemas prediais hidrossanitários podem ser divididos em: subsistema de suprimento (água fria e água quente), subsistema de equipamentos e componentes (aparelhos sanitários) e subsistema de esgoto sanitário e de drenagem de águas pluviais [7].

2.2. Comissionamento de Sistemas Prediais

O estabelecimento de protocolos de comissionamento dos sistemas prediais tem a finalidade de atender aos requisitos de projeto do proprietário, documentar as fases do ciclo de vida do edifício, capacitar os profissionais de operação e manutenção, com o objetivo de evitar falhas, diminuir desperdícios e retrabalhos, melhorar a qualidade, o desempenho e a sustentabilidade [1-2, 4].

Segundo Nascimento [8], o comissionamento é o processo que assegura que os sistemas e componentes de uma edificação estejam projetados, instalados, testados, operados e mantidos de acordo com as necessidades e requisitos operacionais do sistema e do usuário. As atividades de comissionamento, no seu sentido mais amplo, são aplicáveis a todas as fases do empreendimento, desde o projeto básico e detalhado, o suprimento e o diligenciamento, até a construção e a montagem.

Segundo Ribeiro [9] o processo de comissionamento visa validar e documentar o desempenho do edifício e seus subsistemas como também propor o treinamento necessário aos operadores, de maneira que continuem a operar os equipamentos do edifício de forma eficaz e mantendo elevado desempenho.

Os dados obtidos pelos registros realizados em um processo de comissionamento permitem a retroalimentação de ações, especificações e tomadas de decisões falhas e, assim, possibilitam que todos os atores envolvidos, desde a concepção do projeto do sistema predial até a sua operação, possam rever seus processos e definir ações de correções e procedimentos contínuos de melhora de concepção, execução e desenvolvimento dos sistemas prediais [1]. Os resultados obtidos dos registros de um comissionamento bem elaborado, também possibilitam o estabelecimento de critérios para um bom desempenho operacional e ambiental dos sistemas prediais, além de estabelecimento de manuais de operação mais precisos e de ações preventivas que prolongam a vida útil e tornam os sistema prediais mais sustentáveis.

De acordo com os conceitos apresentados acima, percebe-se que o objetivo do processo de comissionamento é construir edifícios que visam atender às necessidades do proprietário e ou dos usuários e proporcionar ambientes seguros, mais sustentáveis e confortáveis, mantidos e operados por pessoas treinadas e capacitadas.

A figura 1 apresenta o fluxo básico do comissionamento durante o ciclo de construção de um edifício.



Figura 1 - Inserção do Comissionamento durante o ciclo de construção de um edifício, adaptado de Ribeiro [9].

2.2.1. Fases do Comissionamento

É possível dividir o processo de comissionamento em fases, admitindo-se: uma de projeto e outra de obra. A etapa inicial consiste na reunião de informações que definem os requisitos de projeto do proprietário, as premissas de projeto e o orçamento. Por fim, é estabelecido o plano de comissionamento e incorporados seus requisitos nos documentos de construção (plantas, memoriais, entre outros). Durante a obra são analisados os escopos e cláusulas das instaladoras a serem contratadas, de modo a garantir a execução do comissionamento [10].

Para Ribeiro [9] o processo de comissionamento pode ser dividido em quatro fases principais: planejamento, projeto, construção e operação/ manutenção. A figura 2 representa as fases deste processo. Cabe destacar que em cada uma destas fases desenvolvem-se diferentes atividades por parte do agente de comissionamento.



Figura 2 - Fases do processo de comissionamento, adaptado de Ishida [4].

As etapas do processo de comissionamento associadas as fases do edifício e sua operação podem ser visualizadas mais detalhadamente no fluxo apresentado por Ishida e Oliveira [1], apresentadas na figura 3.

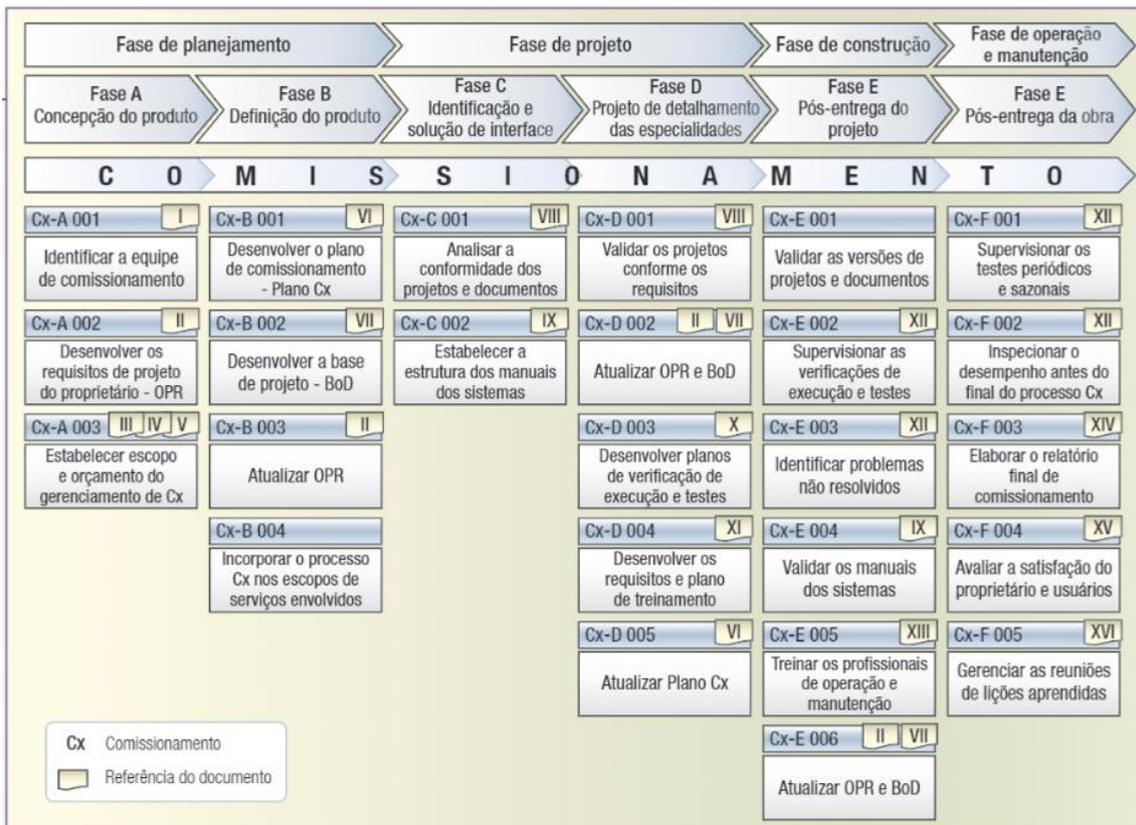


Figura 3 - Fases do processo de comissionamento associadas a fase de vida da edificação [1].

2.2.2. Documentos gerados durante as fases do comissionamento

A documentação gerada no processo de comissionamento é desenvolvida, principalmente, ao longo das fases do processo de comissionamento do edifício. A documentação é organizada pela equipe ou o agente de comissionamento de modo a reunir todas as informações relevantes sobre o edifício e assim, facilitar futuras intervenções [11].

Segundo Ishida [4], à medida que as atividades do comissionamento são desenvolvidas, os documentos de comissionamento são gerados. Destacam-se: Funções e responsabilidades, Requisitos de projeto do proprietário, Plano de comissionamento, Base de projeto, Relatório de revisão de projeto, Manual dos sistemas, Planos de treinamento e registros, Relatório final da garantia de comissionamento e Relatório de comissionamento.

As autoras Ishida e Oliveira [1] desenvolveram em sua pesquisa um quadro resumo apresentando os principais registros e documentos gerados em cada etapa de comissionamento (figura 4).

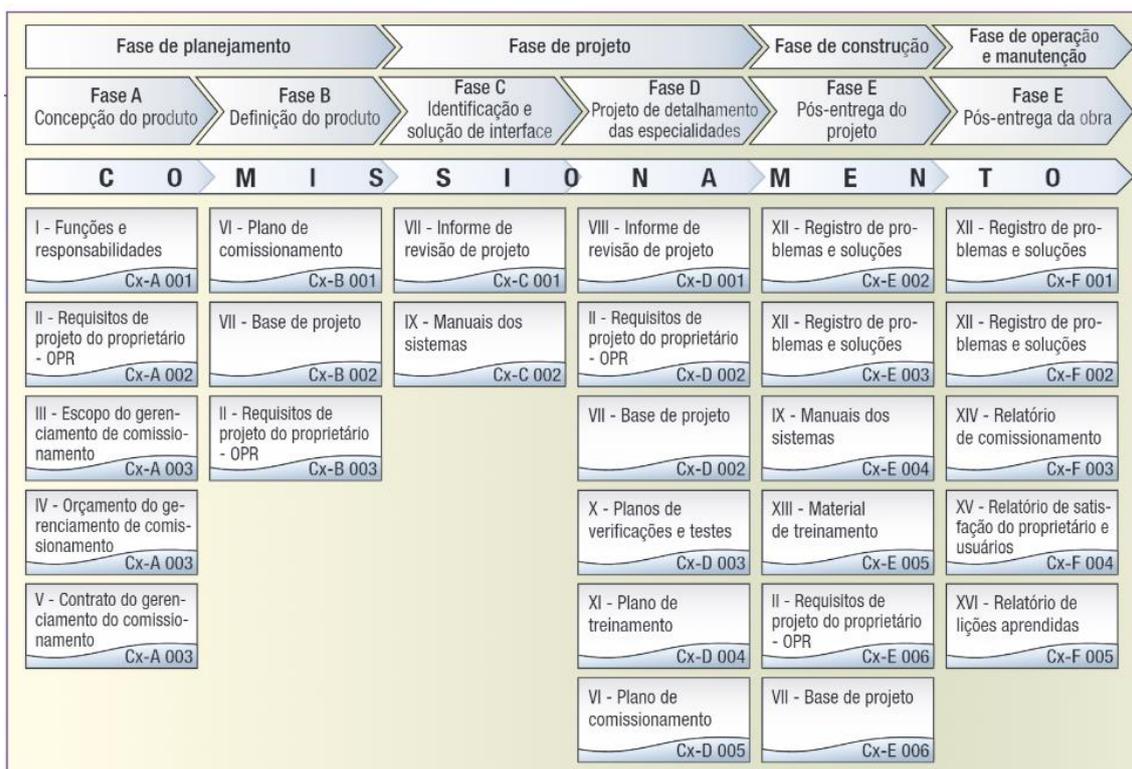


Figura 4 - Registros e documentações resultantes em cada uma das fases do processo de comissionamento associadas a fase de vida da edificação [1].

2.2.3. Modelo conceitual do processo de comissionamento

Segundo Ishida [5] a estrutura do modelo conceitual do processo de comissionamento de sistemas prediais em edifícios, segue o padrão dos manuais de escopo de projetos, como o manual de escopo de serviços de instalações hidráulicas da AGESC [12].

A tabela 1 resume a fases (etapas) do modelo conceitual do processo de comissionamento proposto por Ishida [4].

Tabela 1 - Resumo do modelo conceitual processo de comissionamento de um sistema predial, adaptado de Ishida [4].

Fase	Seqüência de atividades
A	Identificar a equipe de comissionamento, desenvolver os requisitos de projeto do proprietário e estabelecer o escopo e orçamento do gerenciamento do comissionamento
B	Desenvolver o plano de comissionamento, desenvolver a base de projeto, atualizar os requisitos de projeto do proprietário e incorporar o comissionamento nos escopos de serviços.
C	Analisar a conformidade dos projetos e documentos e estabelecer a estrutura dos manuais dos sistemas.
D	Validar os projetos conforme os requisitos, desenvolver planos de execução e testes, desenvolver requisitos de plano de treinamento e atualizar o plano de comissionamento.
E	Validar as versões de projetos e documentos, supervisionar as verificações de execução e testes, treinar os profissionais de operação e manutenção e atualizar os documentos.
F	Supervisionar os testes periódicos, inspecionar o desempenho final do comissionamento, avaliar a satisfação do proprietário e gerenciar reuniões de lições aprendidas.

2.3. Estudo de Caso

Visando avaliar o procedimento de implantação de um protocolo de comissionamento, foi realizado um estudo de caso onde foi possível analisar as etapas do processo de comissionamento aplicado ao sistema hidrossanitário de uma cozinha e área de serviço de um edifício residencial.

O estudo de caso utilizado para o desenvolvimento desta pesquisa é o representado na figura 5: tem uma área total de 9,10 m², sendo que a cozinha possui pontos para torneira da pia (água fria e quente), filtro e máquina de lavar louças. A área de serviço contém pontos para torneira do tanque e máquina de lavar roupas.

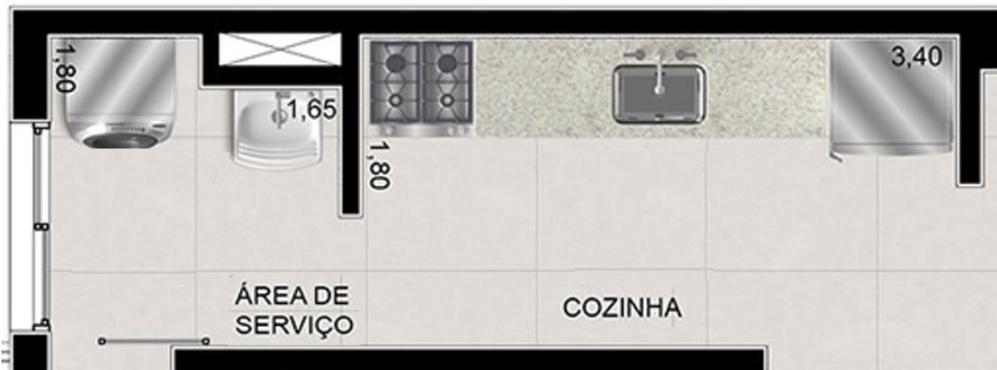


Figura 5 - Cozinha e área de serviço de um apartamento tipo.

Segundo Ishida [4], o modelo conceitual para comissionamento de sistemas prediais, deve ser dividido em fases, conforme demonstrado na figura 6. Este modelo segue o padrão dos manuais de escopo da AGESC [12].

Para Ribeiro [9], o processo de comissionamento é longo e deve acompanhar todo o ciclo de projeto e execução de um empreendimento. Neste trabalho, não foi possível aplicar o processo como um todo, uma vez que, até a escrita deste artigo, o empreendimento ainda estava na fase de execução da obra. Desta maneira, o processo de comissionamento foi analisado restringindo-se às fases A, B, C e D, conforme demonstradas na figura 6.



Figura 6 - Fases analisadas no estudo de caso, adaptado de Ishida [4].

Assim, cada uma das etapas de comissionamento envolvidas no desenvolvimento do ambiente estudado foi descrita e discutida, a fim de descrever os protocolos adotados para a sua implantação. O item seguinte descreve cada uma dessas etapas.

3. Resultados e Discussões

Nesse contexto, apresentam-se as análises das fases do processo de comissionamento. Na fase A (concepção do produto), foram definidos o escopo, representantes da equipe técnica e

competências dos representantes. A fim de documentar as Funções e Responsabilidades e os Requisitos de projeto do proprietário, foram geradas planilhas de controle. Tais planilhas são os documentos gerados nesta fase. Cabe destacar que os representantes da equipe técnica foram convidados a participar deste processo e suas experiências profissionais foram de grande contribuição para a análise do comissionamento. Para a elaboração dos Requisitos de projeto do Proprietário foram realizadas duas reuniões com a participação dos projetistas e construtores.

Na fase B (definição do produto) o agente de Comissionamento iniciou o desenvolvimento do plano de Comissionamento. A equipe de projetos, por sua vez, desenvolveu os estudos preliminares com o propósito de viabilizar os Requisitos de Projeto do proprietário. Foi desenvolvido o plano de Comissionamento, que é um documento importante para que toda a equipe obtenha diretrizes a serem seguidas. Aqui foram determinadas as disposições dos ambientes, como também as definições prévias das alturas de entreforros e vazios para a passagem de tubulações.

Ainda nesta fase, a equipe de arquitetura apresentou os estudos básicos das disposições da cozinha e área de serviço. A equipe de projetos dos sistemas hidrossanitários apresentou os encaminhamentos das tubulações de esgoto e tubulações verticais de captação de esgoto sanitário, além dos ramais de alimentação de água fria e quente, conforme observado na figura 7. Estes são os produtos gerados nesta fase de comissionamento.

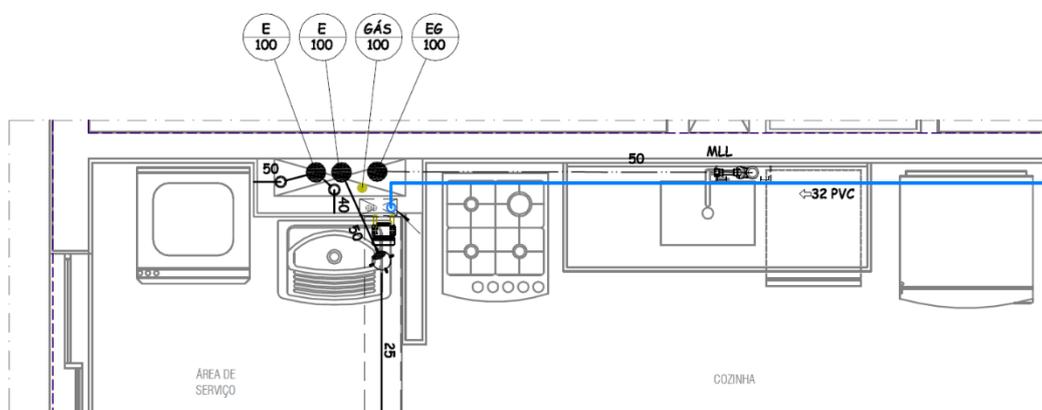


Figura 7 - Estudo preliminar de ramais e sub-ramais de esgoto sanitário.

A fase C (identificação e solução de interfaces), por sua vez, teve como objetivo a validação da ambientação da cozinha e área de serviço. Esta validação foi fundamental para a consolidação dos ambientes e a disposição dos aparelhos hidráulicos, devidamente compatibilizados com a proposta da equipe de arquitetura. Dessa maneira o agente comissionador deu início ao desenvolvimento do Manual de Sistemas. Este manual é um produto gerado nesta fase. Nele foram discriminadas todas as informações necessárias para a instalação, operação e manutenção dos sistemas.

A participação do agente de Comissionamento foi fundamental nesta fase do projeto, uma vez que, coube ao agente revisar os projetos, reunir os dados técnicos e apurar os potenciais problemas provenientes de escolhas erradas.

A fase D (projeto de detalhamento das especialidades) foi a última analisada neste estudo de caso. Seu principal objetivo foi a validação das fases anteriores. Coube à equipe de coordenadores e projetistas a compatibilização de todas as interfaces. Com este relatório, o agente de Comissionamento desenvolveu os informes de revisão de projeto e o plano de verificação, execução e testes. Ambos os documentos fazem parte dos produtos gerados nesta fase.

Como o processo de comissionamento é dinâmico e acompanha todo o ciclo de um empreendimento (projetos e obra), é importante destacar a participação constante do agente de comissionamento. Desta maneira procurou-se assegurar que as diretrizes do projeto fossem seguidas conforme os requisitos de projeto do proprietário. Após essas análises, o projetista do sistema hidrossanitário apresentou uma nova versão do projeto, conforme figura 8.

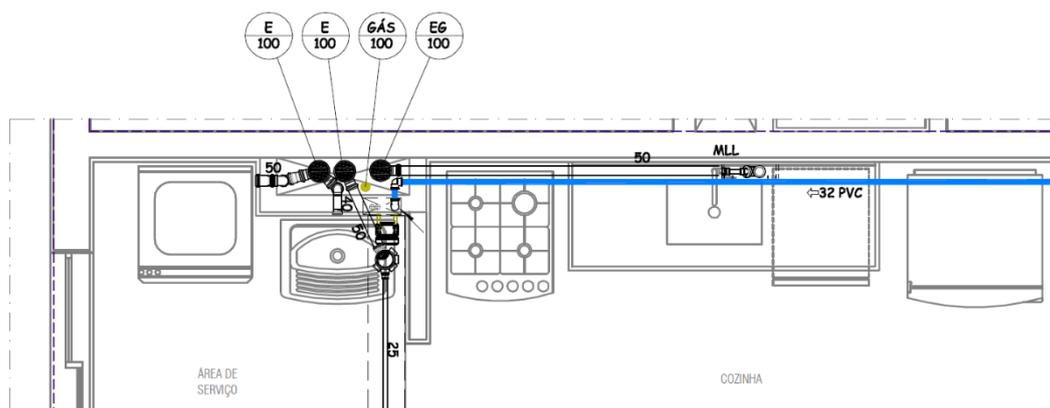


Figura 8 - Projeto executivo de ramais e sub-ramais de esgoto sanitário.

Nesse contexto, toda a equipe de projetos foi gerenciada pelo coordenador de projetos juntamente com o auxílio do agente de comissionamento. É importante destacar que o agente comissionador de projetos teve uma fundamental participação na análise dos demais projetos envolvidos (arquitetura e estrutura), afinal, as instalações hidrossanitárias deveriam estar condicionadas e bem locadas nos espaços devidos a sua utilização (altura de entreforros, vazios, enchimentos e outros). Por fim, o projetista de instalações, com base no documento informe de revisão de projetos, apresentou a versão executiva dos ramais e sub-ramais de instalações de água fria e quente, conforme demonstrado na figura 9. Cabe destacar que por um motivo de melhor desempenho construtivo, optou-se pelo uso de tubos polietileno reticulado (PEX).

Desta maneira, o último documento gerado nessa fase do processo de comissionamento foi o Plano de Verificação de Execução e Testes. Esse documento foi elaborado pelo agente de comissionamento juntamente com o auxílio da equipe de projetistas e construtores. Assim, encerra-se, neste estudo de caso, a aplicação do processo de comissionamento de sistemas prediais hidrossanitários, de maneira que as demais fases podem ser avaliadas na etapa de construção da obra.

Verificou-se que em todo o processo de concepção do projeto até a execução, todas as etapas foram registradas. Destacando alterações de projeto que podem ser adotadas como melhorias e beneficiamento futuros em novos sistemas concebidos futuramente pelo profissional projetista. Ressalta-se que apesar de não ter sido contemplado neste trabalho, a documentação de registros até a fase de operação do sistema projetado pode garantir ainda mais dados de retroalimentação para a melhoria contínua de concepção e execução dos sistemas prediais.

4. Conclusões

Através desta pesquisa foi possível fazer uma análise do processo de comissionamento e a sua aplicação; o comissionamento garante o desempenho em conformidade com os projetos e a identificação de falhas e pode ser executado com o auxílio de uma equipe técnica, contribuindo assim, para a troca de experiências profissionais.

Os produtos gerados em cada fase do comissionamento são fundamentais para que a equipe técnica possa ter diretrizes corretas a serem seguidas.

Segundo Borgstein [11] o comissionamento é um processo importante para assegurar que o projeto executivo seja construído e operado com sucesso. Esse processo é fundamental para o devido funcionamento de um edifício.

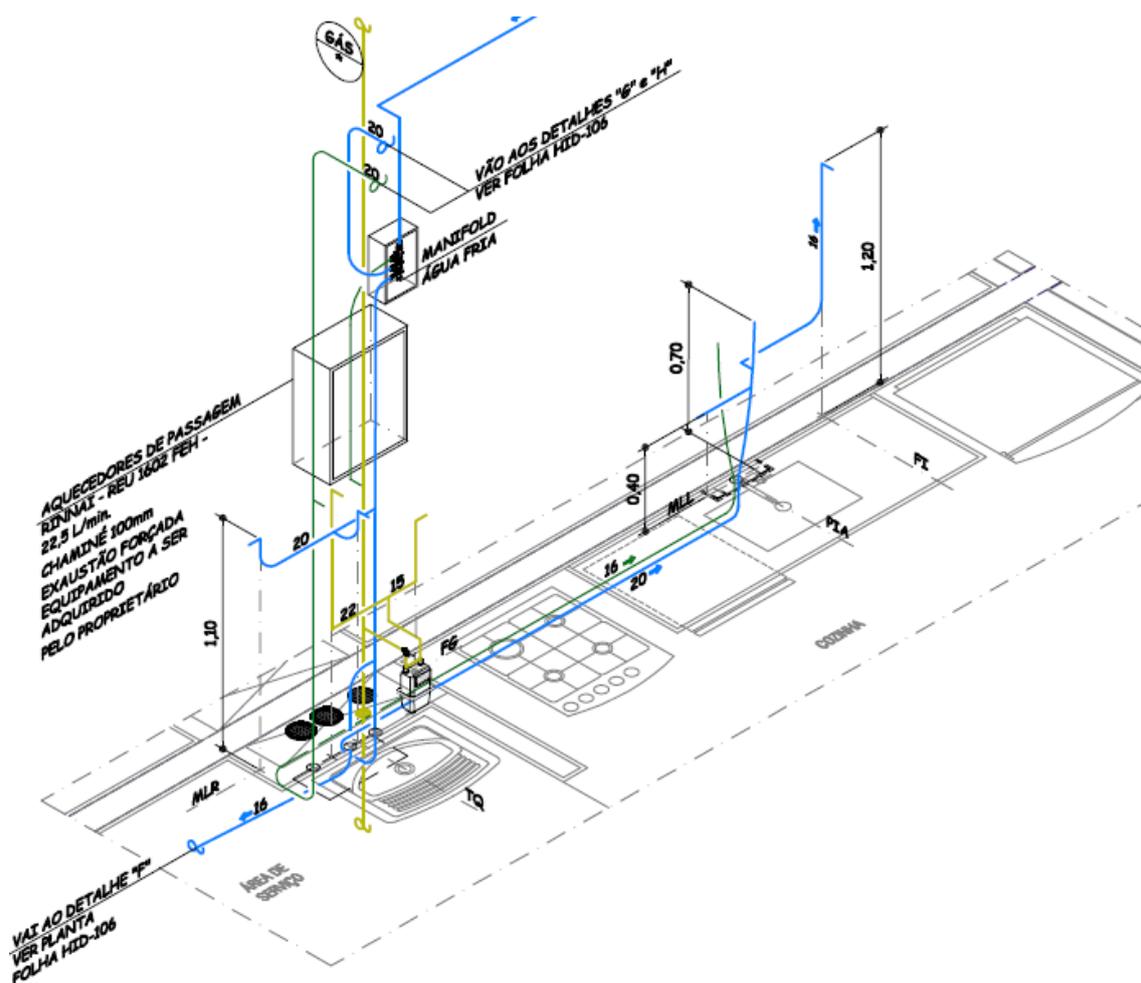


Figura 9 - Projeto executivo de ramais e sub-ramais de água fria e quente.

Desta forma percebe-se que o comissionamento, aplicado desde a fase inicial de um empreendimento, pode proporcionar uma comunicação mais efetiva e eficiente entre todos os envolvidos na concepção, execução e uso do sistema predial comissionado, possibilitando um melhor desempenho, técnico, ambiental, operacional e, evitando desperdícios e retrabalhos garantindo qualidade e bom desempenho de funcionamento, além de contribuir para o cumprimento dos prazos e identificação de problemas de forma antecipada.

Referências

- [1] C. S. F. Ishida, L. H. Oliveira, Escopo para comissionamento de Sistemas Prediais, Revista Hydro, ano XII, 130 (2017). <https://www.arandanet.com.br/assets/revistas/hydro/2017/agosto/index.php>.
- [2] M. A. F. Yamada, L. H. de Oliveira, Comissionamento de sistemas prediais de água quente – requisitos de projeto do proprietário, In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, 18, 2020. <http://doi.10.46421/entac.v18i.1260>.
- [3] L. L. Chagas, M. C. G. O. Brandstetter, Mapeamento da origem das manifestações patológicas detectadas em assistência técnica de um empreendimento residencial. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, Brasil, 2016.
- [4] C. S. F. Ishida, Modelo Conceitual para Comissionamento de Sistemas Prediais. Escola Politécnica USP, São Paulo, Brasil, 2015.

- [5] D. C. Santos, Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental. Associação nacional de tecnologia do ambiente construído, São Paulo, Brasil, 2002.
- [6] C. R. Júnior, Instalações hidráulicas e o projeto de arquitetura. Blucher. São Paulo, Brasil, 2009.
- [7] O. M. Gonçalves, Sistemas prediais de água fria. 1994. 106 p. Texto técnico (escola politécnica da USP) - Departamento de engenharia de construção civil, São Paulo, Brasil, 1994.
- [8] A. Nascimento, A importância do comissionamento, Revista controle de contaminação, Ed 100, 20, São Paulo, (2017).
- [9] G. F. A. Ribeiro, Comissionamento de edifícios novos. Instituto superior técnico, Universidade técnica de Lisboa, Portugal, 2008.
- [10] Z. M. Orofino, A. Lara. Comissionamento de instalações prediais garante bom desempenho operacional. São Paulo, Brasil, 2017.
- [11] E. Borgstein, Os benefícios do comissionamento e retrocomissionamento. São Paulo, Brasil, 2016.
- [12] Associação Brasileira dos Gestores e Coordenadores de Projeto. AGESC, Manual de escopo de contratação de projetos. 2. ed., São Paulo, Brasil, 2018.

ORCID

A. de S. Ferreira	0000-0002-9502-0949 (https://orcid.org/0000-0002-9502-0949)
R. P. A. Reis	0000-0002-1252-1976 (https://orcid.org/0000-0002-1252-1976)
A. T. Ferreira	0000-0002-9502-0949 (https://orcid.org/0000-0002-9502-0949)

Análise de Indicadores da Gestão de Produção em obras corporativas e comerciais

Analysis of Production Management Indicators in corporate and commercial works

S.E.C. Ribeiro^{a†}, D.M. Oliveira^a, C.C. Ribeiro^a, L.S. Mergh^b

^a *Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Belo Horizonte, Brasil*

^b *Garcia Construções e Participações Ltda., Belo Horizonte, Brasil*

[†] *Autor para correspondência: sidnea@ufmg.br*

RESUMO

O papel do sistema de Planejamento e Controle da Produção (PCP) é fornecer informações e modelos para gestão eficiente dos recursos, focando nas estratégias para melhoria da produtividade e gerando valor através das prioridades competitivas como custo, qualidade, flexibilidade, sequência executiva e segurança. Uma das ferramentas mais importantes do PCP é o Last Planner System (LPS) comumente utilizado nas indústrias manufatureiras para verificar o desempenho (indicadores de desempenho), a fim de manter o controle contínuo do planejamento e da produção do empreendimento. O Sistema utiliza-se de indicadores de planejamento, tais como, o Desvio de Ritmo (DR), que identifica possíveis atrasos das atividades com relação ao planejado e de indicadores de desempenho para controlar resultados e os indicadores de desempenho mais utilizados são o Desvio de Custo (DC) e o Desvio de Prazo (DP). O presente estudo analisa as correlações entre os indicadores de planejamento, DR e os indicadores de desempenho, DP e DC, em oito obras, sendo duas de empreendimentos para uso corporativo em seu ciclo completo de 22 e 21 meses e seis de obras de pavimentação e terraplenagem nos primeiros 12 meses da execução. Foram realizadas análises estatísticas de correlação, regressão linear simples e múltipla, a fim de se obter a comprovação estatística da relação entre as variáveis e equações práticas entre os indicadores. Constatou-se que há correlação entre as variáveis envolvidas e verificou-se a influência que cada indicador exerce no comportamento do outro, podendo comprovar que o prazo é muito influenciado pelo ritmo. Nos testes de regressão os resultados mais significativos foram encontrados nas equações onde se manifestavam todas as variáveis. Conclui-se que os valores obtidos nos testes de regressão sugerem que outras variáveis, além do DR, não consideradas nesta análise, devem influenciar os valores dos indicadores de desempenhos DC e DP.

ABSTRACT

The role of the Production and Planning Control (PCP) system is to provide information and models for efficient resource management, focusing on strategies for improving productivity and generating value through competitive priorities such as cost, quality, flexibility, executive sequence and safety. One of the most important tools of the PCP is the Last Planner System (LPS) commonly used in manufacturing industries to verify performance (performance indicators), in order to maintain continuous control of the project's planning and production. The System uses planning indicators, such as Deviation of Rhythm (DR), which identifies possible delays in activities in relation to what was planned and

Palavras-chave:

Planejamento e Controle da Produção; Desvio de Custo; Desvio de Prazo; Desvio de Ritmo.

Keywords:

Planning and production control; Cost Deviation; Deadline Deviation; Rhythm Deviation..

performance indicators to control results, and the most used performance indicators are Deviation from Cost (DC) and Term Deviation (DP). The present study analyzes the correlations between the planning indicators, DR and the performance indicators, DP and DC, in eight works, two of which are for corporate use in their complete cycle of 22 and 21 months and six of paving and earthwork in the first 12 months of execution. Statistical analyzes of correlation, simple and multiple linear regression were carried out, in order to obtain statistical proof of the relationship between variables and practical equations between the indicators. It was found that there is a correlation between the variables involved and the influence that each indicator has on the behavior of the other was verified, being able to prove that the term is very influenced by the pace. In the regression tests, the most significant results were found in the equations where all variables were manifested. It is concluded that the values obtained in the regression tests suggest that other variables, in addition to the DR, not considered in this analysis, should influence the values of the performance indicators DC and DP. Keywords: Last Planner. Planning and production control. Cost deviation. Deviation from Deadline. Deviation of Rhythm.

1. Introdução

Nos últimos anos, o estudo da produtividade em obras vem ganhando mais importância e a busca de melhores indicadores de qualidade e eficácia é um dos principais pontos enfatizados. Para Ballard [1], planejamento e controle são atividades essenciais em qualquer ramo de atividade industrial, porém, o planejamento só se faz útil na medida em que o controle monitora, com base nos objetivos do empreendimento e na realização de ações corretivas e para tanto requer levantamentos e registros de indicadores que permitam controlar e monitorar, além de detectar focos de desvio.

Para Laufer e Tucker [2], o Planejamento e Controle da Produção (PCP) é considerado extremamente importante e cumpre papel fundamental para que seja alcançado êxito na coordenação de todas as variáveis que compõem um empreendimento. Os dados de produtividade e os modelos preditivos podem levar a planejamento e programação de obras mais precisos e mais qualificados, e permitem o estabelecimento de indicadores confiáveis e de cunho mais estratégico a serem adotados pelas empresas para manutenção e melhoria da eficácia de obras.

Neste estudo analisou-se os dados da produtividade por meio do acompanhamento e levantamento de informações em oito obras, sendo duas de empreendimentos para uso corporativo, três de terraplenagem e três de pavimentação. Esses dados foram obtidos por meio da comparação sistemática do planejamento executivo de longo prazo, elaborado na fase de orçamentação da obra e os dados reais apurados no decorrer da obra, através do planejamento de curto prazo.

As duas obras de empreendimentos para uso corporativo são de construções do tipo “Shell Building”, com salas em vãos livres para uso comercial e foram acompanhadas em seu ciclo completo num período de 22 meses para uma obra e 21 meses para outra, enquanto as outras seis obras (planejamento e pavimentação) foram acompanhadas apenas dos 12 meses iniciais da obra. Foram calculados os indicadores Desvio de Ritmo (DR), Desvio de Prazo (DP) e Desvio de Custo (DC) e posteriormente foram realizadas análises de correlação e regressão entre os indicadores e sua relação com uma possível redução do prazo de conclusão da obra e do custo global de produção.

Este estudo se justifica uma vez que é importante conhecer a cadeia de valor no processo produtivo e desenvolver esforços sistemáticos para eliminar ou reduzir o peso de atividades que não agregam valor ao produto final, buscando a garantia de fluxo contínuo, pois conforme Pinheiro [3] esses passos podem ser fundamentais para a melhoria da produtividade, diminuição do desperdício como um todo, estimativa de custos de projetos futuros e para prover de informações essenciais o planejamento e controle de processos.

O objetivo geral do presente estudo é coletar, processar e analisar os indicadores gerados a partir dos planejamentos de longo e curto prazo dos empreendimentos selecionados, comparando e analisando a evolução de alguns indicadores de planejamento e desempenho

estabelecidos para este estudo buscando quantificar e compreender suas relações, contribuindo para a consolidação e refinamento desses indicadores na construção civil. Além disso objetiva-se verificar e determinar a existência e a natureza da relação entre os indicadores de desempenho, Desvio de Custo (DC) e o Desvio de Prazo (DP) e os indicadores de planejamento, Desvio de Ritmo (DR).

1.1. Planejamento e Controle da Produção (PCP)

De acordo com Laufer e Tucker [2], o processo de planejamento e controle da produção deve ser entendido como atividades indissociáveis que fazem parte de um processo gerencial. O planejamento estabelece as metas e indica como elas serão cumpridas, enquanto que o controle acompanha o desempenho das atividades propostas pelo planejamento, garante que o caminho seja mantido e determina o uso de ações corretivas, quando necessário.

Uma das ferramentas mais importantes do PCP é o Last Planner System (LPS) que conforme Ballard [1], aumenta a confiabilidade do plano e pode minimizar desperdício de tempo e custos reduzindo a variabilidade do fluxo de trabalho. O Sistema utiliza-se de indicadores de planejamento, tais como, o Desvio de Ritmo (DR), que identifica possíveis atrasos das atividades com relação ao planejado e de indicadores de desempenho para controlar resultados e os indicadores de desempenhos mais utilizados são o Desvio de Custo (DC) e o Desvio de Prazo (DP).

1.2. Medição de Desempenho e Indicadores de Gestão

A medição de desempenho é vista tradicionalmente, segundo Neely et al. [4], como um meio de quantificar a eficiência e eficácia da ação. A medição de desempenho pode, também, ser considerada como o principal meio de induzir coerentemente a tomada de decisão e a realização de ações, podendo ser usada para influenciar o comportamento e, assim, afetar a implementação das estratégias de uma empresa [4]. Segundo Crowther [5], a sobrevivência de uma empresa depende, em parte, da sua habilidade em avaliar o desempenho e selecionar estratégias que permitam à mesma atingir um desempenho adequado.

Pinheiro [3] demonstrou a importância da implantação dos conceitos e práticas dos indicadores de desempenho da construção civil e destacou que os indicadores mais comuns utilizados na construção civil são os de custo, que contemplam o custo total do empreendimento e seu desvio e os de tempo, que levam em conta a duração total do empreendimento e o seu desvio.

1.2.1. Desvio de Custo (DC)

Segundo Moura [6] o desvio de custo (DC) é uma medida de variação que tem por principal objetivo o monitoramento das diferenças entre o custo orçado e o custo real da obra, possibilitando que seja feito um acompanhamento periódico desses dados.

Turner, 1993 apud Moura[6] propõe uma forma de calcular o desempenho relativo aos custos utilizando a fórmula de Desvio de Custo proposta na equação (1). O autor sugere um índice que corresponde ao percentual da variação entre o custo real e o custo orçado, também denominado de desvio padronizado. Dessa forma, quando o percentual da variação é positivo, significa que o empreendimento ultrapassou orçamento. Se o valor for negativo, indica que o mesmo cumpriu as atividades com menos gasto do que o planeja.

$$DC = \frac{\text{custo real} - \text{custo orçado}}{\text{custo orçado}} \times 100\% \quad (1)$$

1.2.2. Desvio de Prazo (DP)

O desvio de prazo (DP) é uma medida de variação e tem por objetivo principal o monitoramento do andamento da obra, comparando-se o prazo previsto e o prazo efetivo (MOURA, [6]). O índice de desempenho dos prazos pode ser calculado pela razão entre a variação dos prazos e o prazo previsto [6], segundo a equação (2).

$$DP = \frac{\text{prazo real} - \text{prazo orçado}}{\text{prazo orçado}} \times 100\% \quad (2)$$

O resultado deste indicador indica que quando o valor percentual DP é positivo, que a obra está atrasada em relação ao planejamento; quando o valor percentual DP é negativo, que a obra está adiantada em relação ao planejamento e quando o valor percentual DP é zero, que a obra está dentro do prazo previsto.

1.3. Medição e indicadores de planejamento

Com o objetivo de detectar problemas e diminuir as restrições, o processo de planejamento e controle da produção possui vários ciclos de retroalimentação onde tanto a produtividade quanto o planejamento sofrem avaliações e ajustes [7]. A efetivação destes ciclos requer um grupo de indicadores tais como o Desvio de Ritmo (DR) que ofereça os dados e fatos necessários à tomada de decisão em cada fase do planejamento.

1.3.1. Desvio de ritmo

O Ritmo (R) é a taxa de produção ou razão de execução definido em número de unidade por tempo. Esse indicador consegue mostrar com qual velocidade pode-se produzir um determinado produto ou serviço em um intervalo de tempo. Acompanhando este indicador, é possível analisar como a velocidade executada atende à demanda estabelecida.

Segundo Costa [8], o desvio de ritmo (DR) é um indicador que tem por objetivo identificar possíveis atrasos das atividades com relação ao planejado, devido à queda do ritmo de uma ou mais atividades da obra. Dessa forma o DR pode ser calculado conforme sugerido por Costa [8] (Equação (3)).

$$DR = \frac{P_{ex}}{P_{pl}} \times 100\% \quad (3)$$

Onde, P_{ex} é a percentagem (%) de execução real da atividade; P_{pl} é a percentagem (%) de execução planejada.

1.4. Análise de Correlação

A intensidade da relação entre duas variáveis envolvidas em um estudo pode ser avaliada através da análise de correlação e segundo Levin et al. [9] o coeficiente de correlação de Pearson (r) fornece a medida do grau de correlação existente entre duas variáveis e pode-se determinar a intensidade e a direção da relação entre elas. O coeficiente de correlação de Pearson (r) oscila entre -1,00 e +1,00 e quando é positiva tem-se uma correlação direta e negativa, inversa. Se o coeficiente de correlação de Pearson (r) é igual 1,00, tem-se uma correlação perfeita, igual a 0,75 considera-se uma correlação forte, igual a 0,5 mediana, igual a 0,25 fraca e igual zero não tem nenhuma correlação.

Segundo Oliveira [10] para verificar se a associação obtida entre X e Y realmente existe na população é necessário testar a significância do coeficiente de correlação de Pearson (r) através das seguintes hipóteses:

- Hipótese nula (H_0): não existe correlação na população, ou seja, $r = 0$;
- Hipótese alternativa (H_1): existe correlação na população, isto é, $r \neq 0$;

De acordo com Levin et al. [9] há significância estatística ou o resultado é estatisticamente significativo quando o valor de p observado é menor que o nível de significância α , tradicionalmente adotado como 0,05. Se o coeficiente p for igual ou superior, em módulo, ao nível de significância α , a hipótese nula será rejeitada e a hipótese alternativa é aceita, em outras palavras, existe correlação entre as variáveis. Se o coeficiente p for igual ou superior, em módulo, ao nível de significância α , a hipótese nula será aceita e a hipótese alternativa é rejeitada, em outras palavras, não existe correlação entre as variáveis. Se o coeficiente p for inferior, em módulo, ao nível de significância α , a hipótese nula será rejeitada e a hipótese alternativa é aceita, em outras palavras, existe correlação entre as variáveis.

O valor de p representa um índice decrescente da confiabilidade de um resultado. Quanto mais alto o p , menos se pode acreditar que a relação observada entre as variáveis na amostra é um indicador confiável da relação entre as respectivas variáveis na população. Especificamente, o valor de p representa a probabilidade de erro envolvida em aceitar o resultado observado como válido, isto é, como resultado representativo da população.

1.5. Análise de Regressão

Segundo Levin et al. [9] a análise de regressão consiste na realização de uma análise estatística com o objetivo de se verificar a existência de uma relação funcional entre uma variável dependente com uma ou mais variáveis independentes. Através da análise de regressão, é possível estabelecer uma equação que expresse o relacionamento entre as variáveis resposta ou dependente "Y" e explicativa ou independente "X", ou seja, a análise também é usada para verificar como o valor de "Y" pode variar em função da variável "X".

O objetivo da regressão é obter um modelo matemático que melhor se ajuste aos valores observados de "Y" em função da variação dos níveis da variável "X" [9]. A reta ou curva que contém os valores da verificação da variação é chamada de reta ou curva de regressão, criando uma relação direta de causa e efeito. Assim, será possível prever os valores de uma variável dependente com base nos resultados das variáveis independentes.

2. Materiais e métodos

Esse estudo foi realizado através de levantamento de dados realizados em relatórios mensais de obras de duas empresas em Belo Horizonte, foram determinados os indicadores Desvio de custo (DC), Desvio de prazo (DP) e Desvio de ritmo (DR).

Após o cálculo dos indicadores DC, DP e DR com o objetivo de uniformizar a escala dos indicadores uma vez que cada indicador tinha um leque de valores bem distintos, utilizou-se a escala transformada de valores percentuais para valores absolutos variando de 0 a 10. Assim, realizou-se uma interpolação, onde o melhor valor dos indicadores (menor desvio de prazo e custo e maior desvio de ritmo) recebeu a nota 10 e o pior valor (maior desvio de prazo e custo e menor desvio de ritmo) recebeu a nota 0. A conversão da escala para cada indicador ocorreu conforme a Equação 4. Onde I_{\min} é o menor indicador, I_{\max} é o maior indicador e I é o indicador analisado para DC, DP e DR.

$$I_t = \frac{10}{(I_{\min})} \times (I - I_{\max}) \quad (4)$$

Foram analisadas 9 obras e essas obras foram agrupadas pelo tipo, Grupo 1, obras de terraplenagem e pavimentação e Grupo 2, obras de edifício para uso corporativo comercial. No Quadro 1 apresenta-se os grupos, o tipo, e o tempo de acompanhamento e análise das obras.

Quadro 1 - Agrupamento e descrição das obras analisadas.

Grupo	Obras	Tipo	Tempo de análise
Grupo 1	Obras 1, 2 e 3	Terraplenagem	12 meses
	Obras 4,5 e 6	Pavimentação	12 meses
Grupo 2	Obra 7	Edifício comercial tipo Shell Building	22 meses
	Obra 8	Edifício comercial tipo Shell Building	21 meses

3. Resultados

Os dados de custo, prazo e ritmo foram obtidos dos relatórios mensais das obras e posteriores os desvios de prazo (DP), custo (DC) e ritmo (DR) foram calculados para cada obra. Os valores desses indicadores de desempenho e planejamentos do Grupo 1 estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, enquanto do Grupo 2 estão na Tabela 3.

Tabela 1 - Indicadores de desempenho e planejamentos das obras do Grupo 1 - Obras de 1 a 3.

Obra	Mês	Indicadores percentuais			Indicadores Transformados		
		DP	DC	DR	DP	DC	DR
Obra 1	1	0,00%	-0,24%	0,00%	7,17	5,81	0,00
	2	0,11%	-0,11%	54,17%	7,13	5,76	0,61
	3	-0,15%	-0,48%	142,86%	7,21	5,91	1,60
	4	0,14%	-1,19%	81,82%	7,12	6,18	0,92
	5	0,03%	-1,22%	98,34%	7,16	6,19	1,10
	6	1,79%	-0,94%	37,85%	6,62	6,09	0,42
	7	-2,94%	-0,90%	665,38%	8,06	6,07	7,47
	8	1,29%	1,15%	70,48%	6,77	5,27	0,79
	9	-0,77%	0,92%	116,70%	7,40	5,36	1,31
	10	0,27%	3,90%	96,57%	7,08	4,21	1,08
	11	-0,25%	3,60%	105,80%	7,24	4,32	1,19
	12	-1,45%	1,85%	127,23%	7,61	5,00	1,43
Obra 2	1	-1,61%	-5,51%	135,40%	7,66	7,86	1,52
	2	2,54%	-5,63%	96,03%	6,39	7,90	1,08
	3	-0,93%	-5,73%	113,79%	7,45	7,94	1,28
	4	-0,19%	-4,82%	102,47%	7,22	7,59	1,15
	5	-0,06%	-6,62%	101,03%	7,18	8,29	1,13
	6	2,22%	-4,71%	271,49%	6,49	7,55	3,05
	7	-1,88%	-4,32%	92,11%	7,74	7,40	1,03
	8	-0,29%	-3,99%	120,85%	7,25	7,27	1,36
	9	-0,48%	-4,18%	128,92%	7,31	7,34	1,45
	10	0,41%	-4,38%	298,28%	7,04	7,42	3,35
	11	0,18%	-4,17%	86,91%	7,11	7,34	0,98
	12	-0,15%	-5,21%	114,92%	7,21	7,74	1,29
Obra 3	1	1,26%	-1,14%	48,02%	6,78	6,16	0,54
	2	23,51%	3,71%	2,90%	0,00	4,28	0,03
	3	10,70%	5,20%	22,34%	3,90	3,70	0,25
	4	12,43%	6,52%	27,83%	3,38	3,19	0,31
	5	9,15%	14,75%	49,22%	4,38	0,00	0,55
	6	1,44%	13,74%	87,81%	6,73	0,39	0,99
	7	-6,78%	7,96%	286,23%	9,23	2,63	3,21
	8	-6,28%	-10,87%	277,27%	9,08	9,94	3,11
	9	-8,64%	-11,04%	891,15%	9,80	10,00	10,00
	10	-1,35%	-4,34%	218,60%	7,58	7,40	2,45
	11	-1,99%	-7,11%	289,13%	7,77	8,48	3,24
	12	-5,65%	-5,97%	706,19%	8,89	8,03	7,92

Posteriormente, com o objetivo de uniformizar a escala dos indicadores, calculou-se os valores transformados fazendo-se uma interpolação, onde o melhor valor dos indicadores recebeu a nota 10 e o pior valor recebeu a nota 0. A transformação dos indicadores foi realizada separadamente por Grupo. Os valores transformados do Grupos 1 são também apresentados nas Tabelas 1 e 2, enquanto do Grupo 2 são apresentados na Tabela 3.

Tabela 2 - Indicadores de desempenho e planejamentos das obras do Grupo 1 - Obras de 4 a 6.

Obra	Mês	Indicadores percentuais			Indicadores Transformados		
		DP	DC	DR	DP	DC	DR
Obra 4	1	3,61%	0,52%	40,53%	6,07	5,52	0,45
	2	6,57%	3,00%	37,19%	5,16	4,56	0,42
	3	4,43%	4,23%	44,69%	5,82	4,08	0,50
	4	4,56%	4,16%	38,71%	5,78	4,11	0,43
	5	-1,42%	4,24%	121,26%	7,60	4,08	1,36
	6	0,31%	3,43%	94,91%	7,07	4,39	1,07
	7	1,25%	3,81%	85,99%	6,78	4,24	0,96
	8	-0,40%	6,08%	105,30%	7,29	3,36	1,18
	9	-5,45%	4,54%	150,70%	8,83	3,96	1,69
	10	1,65%	5,27%	89,77%	6,66	3,68	1,01
	11	-9,30%	2,71%	204,14%	10,00	4,67	2,29
	12	-4,86%	2,26%	305,06%	8,65	4,84	3,42
Obra 5	1	-0,09%	-0,09%	103,38%	7,19	5,75	1,16
	2	0,93%	-1,84%	89,40%	6,88	6,43	1,00
	3	-0,28%	-1,87%	146,67%	7,25	6,45	1,65
	4	-0,58%	-1,91%	109,60%	7,34	6,46	1,23
	5	1,80%	-2,38%	61,95%	6,62	6,64	0,70
	6	-1,86%	-2,07%	123,66%	7,73	6,52	1,39
	7	0,26%	-1,50%	97,29%	7,09	6,30	1,09
	8	0,00%	-1,26%	0,00%	7,17	6,21	0,00
	9	0,00%	-1,25%	0,00%	7,17	6,21	0,00
	10	0,45%	-1,20%	97,15%	7,03	6,18	1,09
	11	1,71%	0,11%	70,16%	6,64	5,68	0,79
	12	-2,91%	6,09%	153,59%	8,05	3,36	1,72
Obra 6	1	-0,40%	1,68%	233,33%	7,29	5,07	2,62
	2	-0,20%	6,97%	108,70%	7,23	3,02	1,22
	3	2,85%	7,80%	71,64%	6,30	2,69	0,80
	4	2,05%	6,09%	74,85%	6,54	3,36	0,84
	5	0,10%	3,40%	99,01%	7,14	4,40	1,11
	6	-6,10%	3,48%	506,67%	9,02	4,37	5,69
	7	-0,20%	2,23%	105,71%	7,23	4,85	1,19
	8	1,00%	2,46%	84,13%	6,86	4,77	0,94
	9	1,40%	3,64%	78,79%	6,74	4,31	0,88
	10	4,80%	3,39%	44,83%	5,70	4,40	0,50
	11	-7,40%	3,56%	176,29%	9,42	4,34	1,98
	12	0,80%	3,83%	92,31%	6,92	4,23	1,04

Analisando-se as Tabelas 1 e 2 observa-se que entre as obras analisadas do grupo 1, a obra 3 apresentou o maior desvio de prazo (maior atraso) no mês 2, o maior de desvio de custo no mês 5, portanto foi atribuído o valor absoluto 0 para esses meses desta obra. Observa-se, também, que entre as obras analisadas do grupo 1, a obra 4, no mês 11, apresentou o menor desvio de prazo (menor atraso), a obra 3, no mês 9, apresentou o menor desvio, portanto foi atribuído o valor absoluto 10 para estas obras, nestes meses. Percebe-se também que a obra 3, no mês 9 teve o maior desvio de ritmo, portanto foi atribuído o valor absoluto 10 para esse mês desta obra e o menor ritmo ocorreu na obra 1, no mês 1, portanto foi atribuído o valor absoluto 0 para esse mês

desta obra.

Analisando-se Tabela 3 observa-se que entre as obras analisadas do grupo 2, a obra 7 apresentou o maior desvio de prazo (maior atraso) nos meses 15 e 16, o maior de desvio de custo no mês 11, portanto foi atribuído o valor absoluto 0 para esses meses desta obra. Observa-se, também, que entre as obras analisadas do grupo 2, a obra 8, no mês 8, apresentou o menor desvio de prazo (menor atraso), a obra 7, no mês 19, apresentou o menor desvio de prazo, portanto foi atribuído o valor absoluto 10 para estas obras, nestes meses. Percebe-se também que a obra 7, no mês 3, teve o maior desvio de ritmo, portanto foi atribuído o valor absoluto 10 para esse mês desta obra e o menor ritmo ocorreu na obra 7, no mês 2, portanto foi atribuído o valor absoluto 0 para esse mês desta obra.

Os demais valores absolutos das Tabelas 1, 2 e 3 foram interpolando entre os valores de 0 a 10.

Adequada a escala dos indicadores, realizou-se as análises estatísticas de correlação, por meio da qual tornou-se possível verificar a existência e a intensidade da relação entre duas variáveis.

3.1. Análise de Correlação

Com o objetivo de verificar se existe dependência entre os indicadores desempenho e de planejamento das obras estudadas e também para calcular qual o grau de dependência entre as variáveis foi realizado três análises: Análise 1, Desvio de Custo x Desvio de Prazo; Análise 2, Desvio de Custo x Desvio de Ritmo e Análise 3, Desvio de Prazo x Desvio de Ritmo.

Na Tabela 4 apresenta-se os coeficientes de correlação de Pearson (r) e os resultados do teste de significância (p) correspondentes às variáveis, bem como a conclusão do resultado de cada teste. Pode-se observar que os valores do coeficiente de correlação de Pearson (r) em todos os testes são positivos, isto significa que as variáveis possuem uma relação direta.

Analisando a Tabela 4, observa-se que todos os valores obtidos no teste de significância (p) foram inferiores ao valor limite adotado ($\alpha = 0,05$), conclui-se, portanto, que existe correlação entre as variáveis existentes na população e, portanto, pode-se continuar os estudos e realizar, também, a análise de regressão. Percebe-se que o nível de significância do Grupo 2 (p) é maior que do Grupo 1, portanto a confiabilidade da relação entre os indicadores do Grupo 2 é maior.

Analisando ainda a Tabela 4 pode-se verificar que coeficiente de correlação de Pearson (r) são positivos e que, portanto, existe uma correlação direta entre as variáveis analisadas. O coeficiente de correlação de Pearson (r) das variáveis analisadas está entre 0,324 a 0,540 para o Grupo 1, indicando uma correlação de fraca a mediana e entres os valores 0,506 a 0,755 para o Grupo 2, indicando uma correlação de mediana a forte. Confirmando, portanto, que a correlação dos indicadores do Grupo 2 são mais confiáveis, essa confiabilidade maior pode ser justificada pela o tipo de obra, padrão de obra e também pelo tempo de acompanhamento e análise. As obras do Grupo 2 são de tipologia muito diferente das obras do Grupo 1 e são de padrão alto, tendo, normalmente maior controle. As obras do Grupo 2 foram analisadas durante todo o período de construção, enquanto as do Grupo 1 foram analisadas nos primeiros 12 meses da obra, no restante do tempo a obra pode ter um comportamento diferente do início e melhorar ou piorar seus indicadores.

Observa-se também que a correlação DP-DR é superior nos dois grupos, mostrando que a correlação entre o ritmo e prazo é a mais forte.

3.2. Análise de Regressão

Na regressão, o interesse é encontrar a força de associação entre as variáveis e especificar a natureza da relação entre elas, assim, se estabelece uma variável que é dependente, e a outras, independentes. Para os resultados dos índices estudados foram executados os testes de regressão linear simples e múltipla.

Tabela 3 - Indicadores de desempenho e planejamentos das obras do Grupo 2.

Obra	Mês	Indicadores percentuais			Indicadores Transformados		
		DP	DC	DR	DP	DC	DR
Obra 7	1	0,00%	0,34%	100,00%	7,08	7,34	6,56
	2	0,91%	1,42%	77,92%	6,22	6,73	0,00
	3	-0,91%	2,04%	111,58%	7,94	6,38	10,00
	4	-0,68%	2,21%	105,36%	7,73	6,29	8,15
	5	0,45%	5,51%	97,67%	6,65	4,42	5,87
	6	0,68%	7,65%	96,28%	6,44	3,20	5,45
	7	1,59%	10,98%	93,94%	5,58	1,32	4,76
	8	3,41%	11,43%	89,75%	3,86	1,06	3,51
	9	6,59%	10,78%	84,52%	0,86	1,43	1,96
	10	6,14%	11,50%	87,98%	1,29	1,02	2,99
	11	5,91%	13,31%	89,51%	1,50	0,00	3,44
	12	5,68%	10,93%	90,60%	1,72	1,35	3,77
	13	5,91%	9,69%	91,07%	1,50	2,05	3,90
	14	7,05%	9,43%	89,97%	0,43	2,20	3,58
	15	7,50%	7,92%	90,05%	0,00	3,05	3,60
	16	7,50%	7,81%	90,64%	0,00	3,11	3,78
	17	7,05%	2,64%	91,39%	0,43	6,04	4,00
	18	6,82%	-1,69%	92,11%	0,64	8,49	4,22
	19	6,36%	-4,35%	92,90%	1,07	10,00	4,45
	20	5,23%	-3,80%	94,41%	2,15	9,69	4,90
	21	3,86%	-0,84%	96,11%	3,43	8,01	5,40
	22	0,00%	-0,91%	100,00%	7,08	8,05	6,56
Obra 8	1	-0,10%	-0,19%	103,45%	7,18	7,64	7,59
	2	-0,05%	-0,46%	100,75%	7,13	7,80	6,78
	3	-1,10%	-0,86%	109,24%	8,12	8,02	9,30
	4	1,83%	-1,46%	89,74%	5,35	8,36	3,51
	5	2,30%	-2,19%	89,69%	4,91	8,78	3,49
	6	-0,91%	-2,85%	103,64%	7,94	9,15	7,64
	7	-0,23%	-3,62%	100,73%	7,30	9,59	6,77
	8	-3,09%	-2,40%	108,33%	10,00	8,90	9,03
	9	0,20%	-2,21%	99,53%	6,89	8,79	6,42
	10	3,06%	-3,96%	93,64%	4,19	9,78	4,67
	11	3,35%	-2,37%	93,76%	3,92	8,88	4,71
	12	0,22%	-1,89%	99,63%	6,87	8,61	6,45
	13	-0,60%	-3,46%	100,95%	7,65	9,50	6,84
	14	-1,90%	-1,08%	102,87%	8,88	8,15	7,41
	15	-2,04%	-2,79%	102,89%	9,01	9,12	7,42
	16	0,04%	-1,36%	99,95%	7,04	8,31	6,54
	17	-0,52%	-3,00%	100,65%	7,57	9,24	6,75
	18	-0,85%	-0,50%	101,02%	7,88	7,82	6,86
	19	-1,30%	-0,86%	101,47%	8,31	8,02	6,99
	20	-2,58%	-1,20%	102,71%	9,52	8,22	7,36
	21	0,00%	-1,54%	100,00%	9,52	8,41	6,56

Tabela 4 - Resumo das análises de correlação entre as variáveis.

Grupo	Teste	Análise	r	P	Resultado
1	1	DC-DP	0,324	0,005	Rejeita-se H0, Correlação Fraca
	2	DC-DR	0,351	0,003	Rejeita-se H0, Correlação Fraca
	3	DP-DR	0,540	0,000	Rejeita-se H0, Correlação Mediana
2	1	DC-DP	0,546	0,000	Rejeita-se H0, Correlação Mediana
	2	DC-DR	0,506	0,001	Rejeita-se H0, Correlação Mediana
	3	DP-DR	0,755	0,000	Rejeita-se H0, Correlação Forte

Para o teste de regressão linear simples, supõe-se a existência de uma única variável independente e uma tendência linear entre as variáveis, estabelecendo uma equação que expresse o relacionamento entre a variável resposta ou dependente, Y, e explicativa ou independente, X, no modelo $Y = a + b X$. Para o teste de regressão linear múltiplas verificou-se a existência de dependência entre as três variáveis, realizou testes de regressão linear múltipla, variando-se a variável dependente. O modelo adotado para essa análise foi do tipo $Y = a + b X1 + c X2$.

Além de testar a significância da regressão, é importante avaliar a quantidade de variabilidade dos dados explicada pelo modelo. Esta avaliação é realizada por meio do coeficiente de determinação R^2 .

Na Tabela 5 estão apresentadas as equações que explica a relação entre as variáveis, o nível de significativa e o coeficiente de determinação R^2 . Analisando-se a Tabela 5 observa-se que todos os modelos podem ser considerados úteis para explicar a variabilidade, uma vez que, em todos os casos, os valores do nível de significância p apresentam-se inferiores ao limite $\alpha = 0,05$.

Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 5 percebe-se que os modelos representantes das relações entre as variáveis DP e DR apresentam os maiores coeficientes de determinação (R^2), demonstrando que esses modelos têm a maior relação entre essas variáveis.

Percebe-se também que os coeficientes de determinação obtidos para Grupo 2 são maiores que o do Grupo 1, o que indica que dependência entre as variáveis encontradas no Grupo 2 são mais fortes e, portanto, percebe-se que os modelos reagem diferentemente para tipos de obras distintas e que, provavelmente, os dados das obras do Grupo 2 são mais confiáveis, uma vez que obras de alto padrão possuem maior controle e acompanhamento e também pois a análise desses dados foram feitas durante toda a execução da obra.

Pode ser observado, também, que os coeficientes de determinação (R^2) da regressão linear múltipla são melhores que os da regressão linear simples, mostrando que as equações de regressão linear múltipla representam melhor a relação das variáveis e que os coeficientes de determinação (R^2) estão distantes de 100%, podendo-se afirmar, portanto, que outras variáveis não apresentadas aqui influenciam na relação de comportamento entre os indicadores e supõem-se, também, que equações não lineares poderiam representar melhor as relações analisadas.

4. Conclusões

O presente estudo contribuiu para o estudo dos indicadores de desempenho e de planejamento, quantificando, comparando e analisando sua evolução e assim consolidando e refinando a relação entre eles, além de estabelecer diretrizes para interligação dos planejamentos de longo e curto prazo com a utilização dos indicadores de desvio de custo, desvio de prazo e desvio de ritmo.

O objetivo principal desse estudo foi determinar a existência e a natureza da relação entre os indicadores de desempenho, Desvio de Custo (DC) e o Desvio de Prazo (DP) e os indicadores de planejamento, Desvio de Ritmo (DR). Visando observar a relação entre os indicadores, foram realizados os testes de correlação, onde verificou-se em todos eles a existência de correlação direta entre os indicadores.

Verificou-se que a relação mais forte nos dois grupos analisados foi entre DP e DR, o que era esperado, pois quanto maior o ritmo, melhor o prazo, porém conclui-se que existem outras variáveis que influenciam as relações de dependência de DC, DP e DR uma vez que os valores estão

distantes de 100%. Um indicador que pode melhorar essa relação é o Percentual de planejamento concluído (PPC).

Tabela 5 - Resultados das Análises de Regressão.

Análise	Grupo	Equação de regressão	P	R ²
Regressão Linear simples	Grupo 1	$DP = 5,73 + 0,241 DC$	0,005	10,5%
		$DC = 2,42 + 0,435 DP$	0,005	10,5%
		$DP = 6,36 + 0,438 DR$	0,000	29,2%
		$DR = - 3,11 + 0,666 DP$	0,000	29,2%
		$DC = 4,88 + 0,382 DR$	0,003	12,3%
	Grupo 2	$DR = - 0,180 + 0,322 DC$	0,003	12,3%
		$DP = 1,667 + 0,5565 DC$	0,000	29,8%
		$DC = 3,714 + 0,5359 DP$	0,000	29,8%
		$DP = - 1,033 + 1,139 DR$	0,000	57,0%
		$DR = 2,918 + 0,5003 DP$	0,000	57,0%
Regressão Linear múltipla	Grupo 1	$DC = 2,385 + 0,7492 DR$	0,001	25,6%
		$DR = 3,335 + 0,3418 DC$	0,001	25,6%
		$DP = 5,81 + 0,114 DC + 0,394 DR$	0,000	31,2%
	Grupo 2	$DC = 3,26 + 0,255 DP + 0,270 DR$	0,004	14,9%
		$DR = - 3,55 + 0,588 DP + 0,181 DC$	0,000	32,6%
		$DP = - 1,57 + 0,225 DC + 0,970 DR$	0,000	60,6%
		$DC = 2,77 + 0,374 DP + 0,323 DR$	0,000	31,9%
		$DR = 2,58 + 0,0904 DC + 0,452 DP$	0,000	58,2%

Além disso como as equações lineares não representaram tão bem a relação entre os indicadores, supõem-se que equações não lineares de segundo ou terceiro grau poderiam representar melhor essa relação.

Conclui-se também que quando as obras forem analisadas durante toda a sua execução pode apresentar resultados mais confiáveis.

Referências

- [1] G. Ballard, The Last Planner System of Production Control. Thesis (Doctor of Philosophy), School of Civil Engineering, Faculty of Engineering. University of Birmingham, Birmingham, 2000.
- [2] A. Laufer, R. L. Tucker, Is Construction Planning Really Doing its Job? A critical examination of focus, role and process. *Construction Management and Economics*, London, 5 (1987) 243-266.
- [3] J. P. C. Pinheiro, Indicadores-chave de Desempenho (Key Performance Indicators) aplicados à construção: Desempenho e Benchmarking do setor. Dissertação de M.Sc., Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.
- [4] A. Neely, J. Mills, K. Platts, M. Gregory, H. Richards, Performance measurement system design: Should process based approaches be adopted?, *International Journal of Production Economics*, 46–47 (1996) 423–431.
- [5] D. E. A. Crowther, Corporate Performance Operates in Three Dimensions, *Managerial Auditing Journal*, 11 (1996) 4-13.
- [6] C. B. Moura, C.T. Formoso, Análise quantitativa de indicadores de planejamento e controle da produção: impactos do Sistema Last Planner e fatores que afetam a sua eficácia, *Ambiente Construído*, 9 (2009) 57-74.
- [7] E. M. V. Lantelme, P. Tzortzopoulos, C. T. Formoso, Indicadores de Qualidade e Produtividade para a Construção Civil. Porto Alegre: Núcleo Orientado para a Inovação da

- Edificação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- [8] D. B. Costa, Diretrizes para Concepção, Implementação e Uso de sistemas de Indicadores de Desempenho para Empresas da Construção Civil. Dissertação de M.Sc., UFRBS, Porto Alegre, RS, 2003.
- [9] J. Levin, J. A. Fox, D. R. Forde, Estatística para ciências humanas. 11 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.
- [10] D. M. Oliveira, Estudo dos processos aproximados utilizados para a consideração das não-linearidades física e geométrica na análise global das estruturas de concreto armado. Tese de Dr. UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2007.

ORCID

S.E.C. Ribeiro	0000-0001-7875-9314 (https://orcid.org/0000-0001-7875-9314)
D.M. Oliveira	0000-0003-4379-5096 (https://orcid.org/0000-0003-4379-5096)
C.C. Ribeiro	0000-0002-6698-9865 (https://orcid.org/0000-0002-6698-9865)
L. S. Mergh	0009-0009-5888-9256 (https://orcid.org/0009-0009-5888-9256)

A Qualidade na Gestão de Projetos de Construção e Montagem

Quality in Construction and Assembly Projects' Management

M. H. M. Mattos^{a†}

^a *Universidade Federal Fluminense, Latec, Niteroi, Brasil*

[†] *Autor para correspondência: mhmattos@hotmail.com*

RESUMO

O segmento de construção e montagem industrial exerce um importante papel na política de desenvolvimento nacional. Criando as condições necessárias para viabilizar a implantação deste tipo de política, o segmento em referência enfrenta diversas dificuldades decorrentes de adversidades impostas pela grande variabilidade de seus projetos, dos ambientes onde os mesmos são executados, e de seus processos executivos. A gestão da qualidade e o gerenciamento de projeto, são as disciplinas que podem assumir a responsabilidade de nortear as empresas pela busca de processos produtivos, que priorizem a produtividade e a qualidade, possibilitando assim oportunidades de melhoria e ganhos de posicionamento em um mercado que se mostra cada vez mais competitivo.

ABSTRACT

The construction and industrial assembly segment plays an important role in the national development policy. By creating the necessary conditions to enable the implementation of this type of policy, the segment in reference faces several difficulties arising from adversities imposed by the great variability of its projects, the environments where they are executed, and its executive processes. Quality management and project management are the disciplines that can take over the responsibility of guiding companies in the search for productive processes that prioritize productivity and quality, thus enabling opportunities for positioning improvement and gains in a market that shows itself to be more and more competitive.

Palavras-chave:

Gestão Qualidade;
Gerenciamento
Projetos;
Produtividade.

Keywords:

Quality
Management;
Project
Management;
Productivity.

1. Introdução

O segmento de Construção e Montagem Industrial funciona como um termômetro da economia, graças a sua atuação multiplicadora sobre os demais setores produtivos. Pensar em desenvolvimento e oportunidades de crescimento passa necessariamente por este segmento, uma vez que a possibilidade de transição do poder econômico de uma nação está relacionada a sua capacidade produtiva, fato comprovado pela análise de artigos, como o “A indústria puxará o crescimento econômico do Brasil em 2020” [1]. Trata-se de um ciclo com atividades interdependentes, conforme demonstrado na figura 1, que não necessariamente ocorrem de maneira sequenciada e dentro de um padrão cronológico preestabelecido.

Trabalhando como mecanismo propulsor do fluxo de desenvolvimento apresentado na figura 1, a indústria brasileira, que já chegou a responder por 22% do PIB brasileiro, segundo dados da Confederação Nacional da Indústria – CNI [2], se posiciona como base e fonte de sobrevivência para as empresas do segmento de construção e montagem. Este número confirma o peso que a indústria representa na economia nacional, que para voltar a crescer de maneira sustentável precisa voltar a este patamar e buscar meios que permitam a sua superação, que

necessariamente vão passar pela exploração de toda a capacidade produtiva que este segmento possa vir a oferecer. Desta forma, crescer cada vez mais e de maneira sustentada exige um aumento da capacidade produtiva e a diversificação da produção e exportação de manufaturas, conforme defendido pela CNI em sua publicação, *A Indústria e o Brasil – uma agenda para o crescer mais e melhor* [2]. Adiciona-se aqui também, o fato da existência de uma correlação clara entre o setor de infraestrutura, em especial o da construção, e o desenvolvimento econômico, e a importância do uso do desenvolvimento da infraestrutura para o desenvolvimento econômico, conforme defende Carlos Eduardo Gondim em seu estudo “O Novo Ciclo de Investimentos na Indústria de Construção Civil e Infraestrutura – Agenda para o Futuro” [3].

Considerando-se os argumentos expostos, e a apresentação da Indústria da Construção como player essencial no foco da geração de emprego e renda da população, segundo a análise do Presidente da CBIC, José Carlos Martins [4], destaca-se que a base de suportes de tudo isto, deve ter como âncora ações do Governo e da iniciativa Privada. Que devem buscar uma agenda de promoção da produtividade e da competitividade do setor produtivo nacional, como por exemplo, através da promoção do desenvolvimento econômico por meio de políticas de estímulo à indústria. A consequência e reflexo deste tipo de estratégia conduz ao estímulo do segmento de construção e montagem, uma vez que este é dos responsáveis por viabilizar o aumento da capacidade produtiva das indústrias.

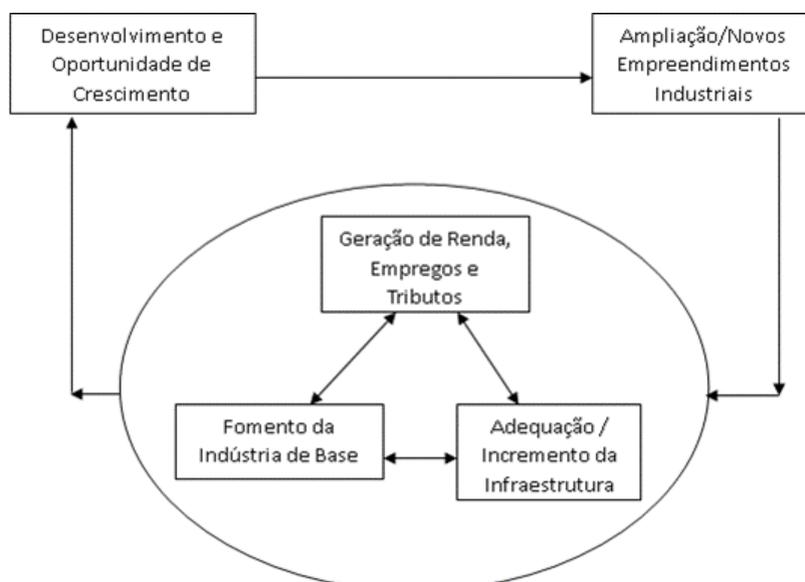


Figura 1 - Fluxo do desenvolvimento.

A perspectiva de projeção dos investimentos no setor da indústria traz consigo um grande desafio para o segmento da construção e montagem, que é o fato de se manter competitivo o bastante, a ponto de transformar todo o capital investido nos empreendimentos em geração interna de empregos e renda para o Brasil. Entendendo a relevância de se estabelecer uma estratégia para vencer este desafio, em um momento em que o mercado se torna cada vez mais exigente e em meio a uma situação de crise, tanto o Governo quanto a Sociedade devem buscar alternativas para o fortalecimento do segmento em estudo. Os esforços envidados por estas entidades resultam em iniciativas e programas que visam a “modernização” e a maximização da produtividade do setor de construção e montagem, bem como a divulgação dos fundamentos de Gestão em busca da Excelência dos processos produtivos, conforme preconizam os programas que se enquadram nesta estratégia, tais como: o Prêmio Melhores em Gestão¹ e o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H)².

O Governo, a Sociedade e as Empresas devem também ter como premissa de suas estratégias competitivas, o aumento do conteúdo nacional do setor, e para isso devem buscar, a

¹ Fonte: www.fnq.org.br

² Fonte: www.cidades.gov.br

melhoria dos processos e da produtividade com base no desenvolvimento dos recursos humanos, da infraestrutura e do uso de novas tecnologias, que são os pilares da competitividade. Ressalta-se que a implantação desta estratégia passa necessariamente por uma nova abordagem dos Processos Produtivos, ilustrado na figura 2, que por sua vez devem estar alinhados com a nova visão de um mercado mais competitivo.

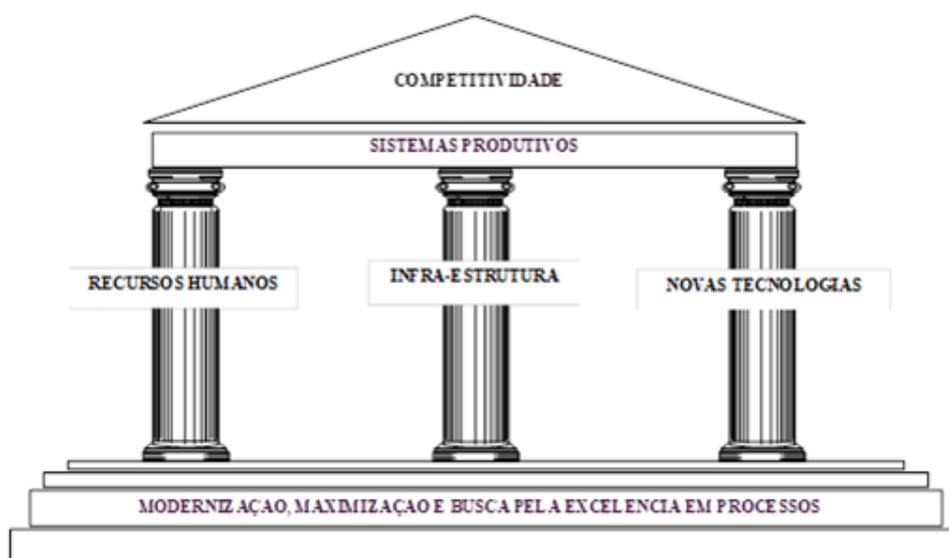


Figura 2 – Pilares da Competitividade.

2. Processos Produtivos do Segmento de Construção e Montagem

Para atender às demandas impostas pelas estratégias mencionadas anteriormente, faz-se necessário aplicar os conceitos de Projeto de Produto ou Serviço e de Projeto de Processo. Segundo Slack et al. [5], o Projeto de Produto ou Serviço está relacionado ao desenvolvimento da execução do produto ou serviço. Já o Projeto de Processo se relaciona com a capacidade da Organização em garantir que seus processos irão atender a todos os requisitos especificados pelo Cliente e pelo Projeto do Empreendimento. Então, pode-se dizer que a maneira pela qual os processos são concebidos está diretamente relacionada com a capacidade da empresa em atingir os seus resultados nos empreendimentos. Em outras palavras, para se garantir que as consequências nos custos, impostas pelos desdobramentos das dimensões da produção, não irão afetar os resultados do empreendimento, é necessário que ocorra um inter-relacionamento entre o Projeto de Processo e o Projeto de Produto/Serviço [5], como ilustrado na figura 3.

No setor de construção e montagem, este inter-relacionamento é o um dos principais desafios a serem vencidos pelas empresas. Muitas das vezes o projeto do produto não está sob o seu domínio, ou questões específicas levam a projetos que não consideram as adversidades do ambiente no qual o mesmo está inserido. Por outro lado, a concepção de processos eficazes também enfrenta dificuldades em função da variação de ambientes nos quais os empreendimentos são planejados.

Desta maneira uma perfeita gestão dos processos, é uma condição essencial para o funcionamento de uma organização de maneira eficaz, na busca pela fabricação de “produtos” dentro das especificações previstas e dentro de uma produtividade ótima. E o atalho para este caminho passa pela identificação dos diversos processos de fabricação e pela maneira como estes se relacionam. Essência do sistema produtivo, o processo produtivo foi objeto de vários estudos ao longo dos anos, sendo definido por diferentes autores e entidades como demonstrado no quadro 1.

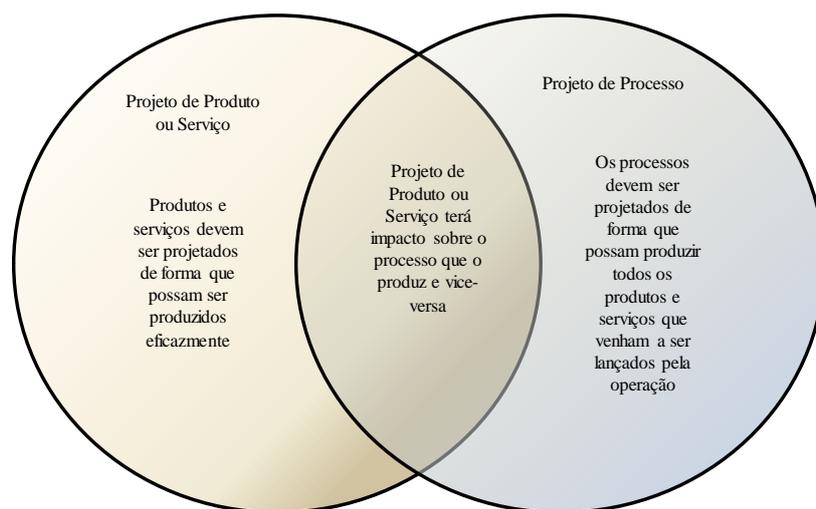


Figura 3 - Projetos de produtos/serviços e processos são inter-relacionados e devem ser tratados simultaneamente, adaptado pelo autor de Slack, Chambers e Johnston [5].

Quadro 1 – Definição de processos produtivos.

Definição de Processos Produtivos	Autor
Série sistemática de ações dirigidas à realização de uma meta.	Juran
Conjunto de fatores de causa que provocam como efeito o alcance de características de qualidade.	Ishikawa
Qualquer atividade que recebe uma entrada (input) agrega-lhe valor e gera uma saída (output) para um cliente interno ou externo.	Harrington
Conjunto de atividades com uma ou mais espécies de entrada e que cria uma saída de valor para o cliente.	Hammer e Champy
Conjunto de atividades inter-relacionadas ou interativas que utilizam entradas para entregar um resultado pretendido.	ABNT NBR ISO 9000:2015

Fazer a coordenação eficiente dos diversos processos produtivos instalados em empreendimentos de construção e montagens industriais, identificando a sistemática de interação entre os processos e tratando esta de maneira correta, é o grande desafio para os gestores das organizações. A competitividade em um ambiente como no setor de construção e montagem, sujeito a mudanças repentinas e exigências que atingem patamares cada vez mais elevados, deve ser resultado de ações de melhoria contínua de seus processos. A reorientação estratégica de posicionamento das organizações no sentido de priorizar a produtividade e a qualidade no processo de produção, visando à adequação das modificações conjunturais, impostas pelo mercado, é fato [6]. Ainda segundo estes autores, a “melhoria da qualidade e da produtividade das construções passa pelo aprimoramento e coordenação dos serviços de projetos e pela adequação destes às necessidades de cada sistema de produção”. Porém esta esbarra ainda em uma visão errônea de muitos Gestores de que o “Sistema de Qualidade” é um empecilho ao invés de auxílio na realização de suas tarefas, conforme afirmam Vieira e Neto [7].

Nesse contexto, a busca por resultados em mercados acirrados traz consigo a premissa que deve nortear a gestão dos processos no segmento de construção e montagem, que é: realizar a atividade certa, no momento certo, da maneira correta, com o menor custo possível, e no menor prazo possível. E os alicerces para atingir esta meta são o Gerenciamento de Projetos e a Gestão da Qualidade.

3. A Gestão da Qualidade em Empreendimentos de Construção e Montagem

O posicionamento da qualidade, como referencial competitivo para as organizações, já é um fato comprovado. Várias foram as pesquisas, ao longo dos últimos anos, que constataram esta afirmação, como Roberto de Souza Alex Abiko [8]. Este potencial se reflete na capacidade que a

qualidade tem de motivar melhorias no processo produtivo, que irão refletir em ganhos para as empresas em:

- redução de custos;
- satisfação do cliente;
- reconhecimento de mercado;
- aumento da produtividade; e
- aumento da lucratividade.

Ao mesmo tempo, existem percalços no caminho que podem exercer influência sobre os resultados da qualidade. O primeiro e mais grave decorre do fato de que a grande parte das metodologias da qualidade foi desenvolvida com base em setores que não apresentam tantas particularidades como o segmento em estudo, como por exemplo, a alta rotatividade de pessoal, fruto da descontinuidade dos projetos. Outro fator está relacionado com a cultura deste segmento que, em decorrência do item anterior, apresenta características que vão de encontro com as concepções contemporâneas das teorias da administração da produção, entre elas a baixa valorização do treinamento da mão de obra e forte concentração do acompanhamento segundo o conceito de controle de tarefas. Destaca-se também a falta de comprometimento dos Profissionais, também se apresenta como um fator de dificuldade para o sistema de qualidade das empresas [7]. Um outro fator com potencial para afetar o desempenho da qualidade está relacionado com a estrutura organizacional das empresas. Esta estrutura tende a refletir a maneira pela qual a empresa estabelece o arranjo de seus vários setores. Segundo Jones et al. (apud Anumba et al. [9]), a estrutura organizacional pode ser definida como um sistema formal de tarefas e gerenciamento que representa os relacionamentos que coordenam e motivam os membros da empresa a trabalharem juntos em busca do atendimento das metas organizacionais projetadas. Baseadas, na maioria das vezes, no modelo moderno de estrutura organizacional, as empresas apresentam uma tendência de enfraquecimento da qualidade, uma vez que o relacionamento com as bases corporativas fica relegado a um segundo plano. Neste caso, em primeiro plano, ficam os interesses de cada empreendimento. E como cada empreendimento espelha também as especificidades de cada cliente, o resultado, em alguns casos, são distorções impostas ao sistema de gestão da qualidade que, muitas vezes, podem afetar as condições ofertadas para o produto final. Anumba [9] afirma que ainda existe espaço na indústria da construção para estruturas tradicionais de organização de empresas, porém a implantação de um modelo híbrido, com influência dos dois modelos estruturais poderia minimizar os impactos causados pelas mudanças constantes impostas pelo mercado em evolução. Pfeifer et al. [10] afirmam que as empresas, para se manterem competitivas, devem implementar mudanças em suas estruturas organizacionais. Cabe, então, aos gestores das empresas mitigar os efeitos destes percalços sobre os resultados da qualidade, que podem ser considerados como uma abstração do entendimento dos conceitos da cultura interna da gestão da qualidade total de cada organização. Normalmente nestes casos, o que se encontra são compreensões equivocadas da qualidade no que tange à política, planos e ações, à falta de comprometimento com as políticas de qualidade e, por último, à falta de uma estratégia bem definida para a qualidade.

A visão sistêmica do gerenciamento da qualidade em construção e montagem deve ser encarada como uma metodologia para que os processos sejam implantados corretamente, garantindo que as coisas serão realizadas corretamente na primeira vez. O primeiro passo, para isso, é a clara especificação no processo, de todos os consumidores do empreendimento, que devem ser definidos e terem seus desejos entendidos conforme abaixo:

- Clientes – desejam qualidade nos produtos recebidos, atendimento as suas necessidades, segurança e custo baixo.
- Acionistas – desejam taxa de retorno do capital, receita, produtividade e baixo custo.
- Colaboradores – desejam crescimento pessoal e profissional, treinamento e empregabilidade.
- Sociedade – segurança quanto aos produtos e serviços produzidos.

Para atender a todos estes consumidores, a organização deve implantar um Sistema de Gestão da Qualidade Total, onde todos os seus processos tenham sido mapeados, e aqueles com potencial para afetar as condições especificadas para o projeto, devem ser tratados e controlados

de maneira contínua. Para garantir a sua eficácia, o sistema de gerenciamento da qualidade deve ser capaz de a qualquer momento, durante o projeto, fornecer pelo menos os seguintes dados:

- Status do Projeto através dos controles estabelecidos pelo sistema de qualidade.
- Resultados de auditoria constante sobre as informações fornecidas pelo planejamento.
- Confirmação dos desvios apresentados pelo Projeto.
- Mapa dos pontos fracos e fortes do Projeto.
- A visibilidade dos possíveis desvios dos prazos de Projeto.
- A uniformização das informações de diversos Projetos, para futuras comparações.
- Os indicadores de desempenho do Projeto.
- Os custos decorrentes de retrabalho.
- Dados consistentes para as tomadas de decisões que se fizerem necessárias ao longo do Projeto.

Cabe aqui destacar também, de que a visão de que o Sistema de Gestão da Qualidade está relacionado com burocracia, ou com a exigência de emissão de um grande número de documentação [7], é um paradigma a ser quebrado. Conforme definição da Norma ISO 9000:2015 [11], documento é a informação e o meio no qual ele está contida, e pode ser referir a informação criada para a organização operar. Neste caso, o Sistema de Gerenciamento da Qualidade, uma vez implantado, deve ser enxuto o suficiente, para garantir a informação documentada mínima requerida pelo próprio Sistema de Gestão, para a operação da empresa e para evidenciar os resultados alcançados.

4. A Qualidade no Gerenciamento de Projetos

Uma das áreas de conhecimento do Gerenciamento de Projetos, a Qualidade aplicada ao empreendimento reflete o processo da organização de busca pela melhoria contínua que, com base nas lições aprendidas de outros projetos, visa a racionalizar seus processos e procedimentos executivos. Porém, segundo Guedes Filho et al. [12], a Gestão da Qualidade do Projeto ainda é um tema relativamente novo no meio acadêmico, que busca o entendimento da disciplina e meios para potencializar as possibilidades de melhoria que o setor até o momento oferece. Essas oportunidades de melhoria são decorrentes de uma indústria tradicional que apresenta uma grande resistência a mudanças, além de muita improvisação quanto a planejamento e gerenciamento, conforme afirma Gomes [13]. Estas situações propiciam possibilidades de baixa produtividade e desperdícios de recursos.

Poubel (apud Gomes [13]) afirma que a produtividade na construção civil pode ser melhorada através de um conjunto de modificações estruturais, tecnológicas, organizacionais e das condições de trabalho. Segundo Guedes Filho et al. [12], “o que diferencia a abordagem do gerenciamento da qualidade do projeto e a simples gestão da qualidade não é o modo, mas sim o foco, haja vista que o segundo focaliza apenas o produto ou serviço e o gerenciamento do projeto preocupa-se especialmente com o qualitativo desencadeamento das atividades organizacionais compreendidas no escopo do projeto como um todo”.

Porém, conforme afirmam Tang et al. [14], apesar das técnicas de gerenciamento da qualidade total terem se demonstrado efetivas a todos os segmentos, a sua implementação na indústria da construção apresenta barreiras devido à natureza diferente entre este segmento e os demais, principalmente no que se refere a:

- Cada projeto no segmento de construção e montagem é único, e a organização não consegue definir um padrão de programa global de gerenciamento de qualidade total que tenha uma aplicação efetiva em todo tipo de empreendimento, e;
- A natureza competitiva do segmento e o alto risco da natureza de suas atividades levam tradicionalmente a um ambiente hostil entre seus participantes, o que torna os fatores-chave da Gestão da Qualidade Total, tais como trabalho em equipe, comprometimento e cultura, referenciais cuja implementação é difícil.

Efetivamente, o que se nota neste segmento, é que as afirmações acima têm seu fundamento baseado em fatos comuns, tais como:

- As implantações dos projetos ocorrem em ambientes totalmente estranhos à organização, diferentemente das indústrias de uma maneira geral, onde os ambientes são

conhecidos e dominados pela empresa. No caso do segmento em estudo, todos os processos produtivos são migrados para o território do cliente, onde lá são implantados os procedimentos e padrões da empresa. Além desta dificuldade, também existem as barreiras impostas pelos próprios clientes que, muitas vezes, tentam impor diretrizes diferentes daquelas difundidas pela empresa. A padronização dos processos também esbarra em procedimentos personalizados para cada empreendimento, possibilitando haver na empresa diferentes metodologias de execução de um mesmo tipo de serviço, e;

- Face à falta de continuidade de empreendimentos, as organizações necessitam buscar constantemente novos profissionais no mercado, para atendimento de projetos específicos, que irão atuar nesta pelo curto espaço de tempo que o mesmo irá durar. Adicionalmente, deve-se ressaltar também que a mão de obra direta dos empreendimentos, ou seja, aquela que executa os serviços e, portanto, a maior responsável pela qualidade do empreendimento, não é parte integrante do corpo fixo de funcionários da organização, também em função do mesmo motivo. Portanto, a capacidade de envolvimento de todos os profissionais com as metas, políticas e culturas de qualidade da empresa é reduzida e causa um forte impacto sobre o resultado final do empreendimento. Soma-se, a estes fatos, a alta rotatividade dos profissionais ao longo dos empreendimentos, decorrente principalmente da concorrência do mercado e de uma relação “mercenária” entre empresa e funcionários. Como grande parte da equipe não tem a certeza do reaproveitamento em novos projetos, estes buscam novos caminhos antes mesmo de terminarem seu ciclo na empresa ou no projeto em que estão.

A gestão da qualidade, então, deve ser focada como um objetivo estratégico e deve ser implementada como um sistema operacional que identifica, descreve e regula todos os processos-chave inclusos no sistema produtivo da empresa [15].

Ainda segundo estes autores, se a gestão da qualidade for corretamente estruturada e convenientemente adaptada a realidade do segmento, esta irá operar como uma ferramenta integrada de planejamento. Eles também afirmam que, dentro deste conceito, o gerenciamento da qualidade conduz as empresas do setor a serem mais eficientes e a criarem as condições necessárias para suportar a melhoria contínua de seus processos produtivos.

O PMBOK, por sua vez, preconiza que o gerenciamento da qualidade do projeto passa pela integração dos processos de planejamento da qualidade, de realização da garantia da qualidade e de realização do controle da qualidade, e que uma visão geral deste sistema pode ser entendida como ilustrado na figura 4.

De fato, o sucesso de um sistema de gestão da qualidade depende do monitoramento de seus processos [15]. E este monitoramento deve se basear nos preceitos estabelecidos no PMBOK, sendo o resultado desta fórmula a chave para melhoria contínua, para a produtividade e para a redução dos custos das empresas de construção e montagem.

É importante ressaltar que a indústria da construção é orientada por projetos [14] e a melhoria da performance da qualidade também deve ser orientada por projeto e contar com o comprometimento de todos os participantes nele envolvidos, uma vez que a qualidade alcançada em qualquer fase do projeto é resultado do empenho de todos os participantes. A receita do sucesso está no resultado da padronização de um sistema de gerenciamento da qualidade da empresa que consiga atender às demandas solicitadas pelas orientações por projeto que cada empreendimento tem em específico.

A melhoria da qualidade e, conseqüentemente, da produtividade e da lucratividade passa pelo aprimoramento dos processos e pela adequação destes a cada particularidade que o empreendimento impõe aos sistemas produtivos. De nada adianta executar o “produto” com uma especificação errada da melhor maneira possível ou executar o “produto” certo de uma maneira ineficaz [15].

Também deve se considerar, neste contexto, a efetiva aplicação dos conceitos existentes nos dez princípios da qualidade que, segundo Conte e Durski [16], são:

- Planejamento da Qualidade – estabelecer uma diretriz da qualidade, identificando os clientes internos e externos, os requisitos do empreendimento, os processos-chave que influenciam na qualidade do produto e nas metas da qualidade.

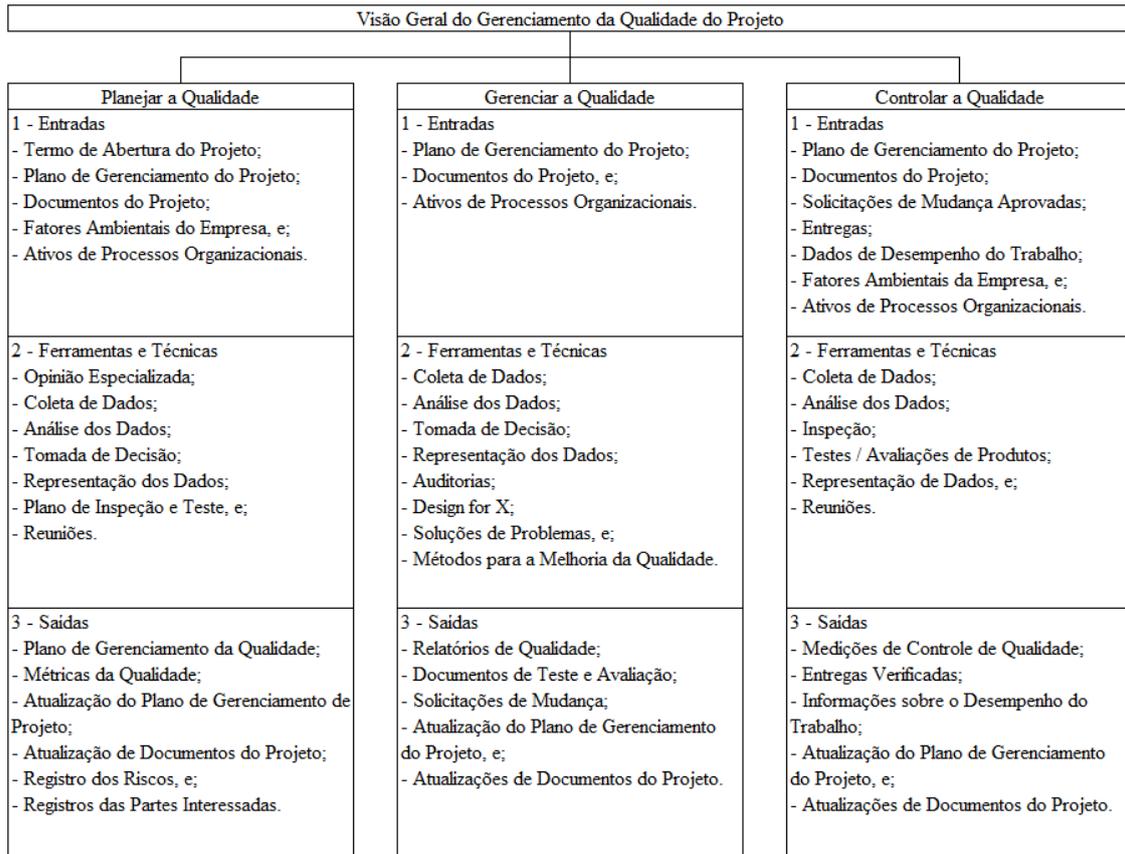


Figura 4 - Visão geral do gerenciamento da qualidade do projeto, adaptado pelo autor de (PMBOK).

- Total Satisfação do Cliente – reconhecer as necessidades dos clientes e sua percepção dos produtos e serviços executados.
- Gestão Participativa – criar uma cultura participativa onde todos possam contribuir para o constante aperfeiçoamento dos processos da organização e para a solução dos problemas.
- Desenvolvimento de Recursos Humanos – estabelecer uma política efetiva de capacitação e treinamento do corpo profissional da empresa.
- Constância de Propósitos – estabelecer os propósitos da política e seus objetivos garantindo a busca constante pelo entendimento e aplicação em toda a organização.
- Aperfeiçoamento Contínuo – estabelecer uma cultura de comprometimento com a busca por inovações, através da constante investigação por novas tecnologias.
- Gerenciamento de Processos – estabelecer metodologia de aplicação constante do ciclo PDCA, visando à avaliação constante do processo produtivo.
- Disseminação das Informações – estabelecer metodologia para garantir que todas as informações necessárias para o desenvolvimento dos processos produtivos sejam difundidas por toda a organização.
- Garantia da Qualidade – estabelecer normas e procedimentos que irão servir como referencial para todo o desenvolvimento do sistema da qualidade da organização e naturalmente dos projetos.
- Desempenho Zero Defeitos – estabelecer metodologia para que todos na empresa busquem a perfeição dos processos.

5. Considerações Finais

O segmento de Construção e Montagem Industrial se apresenta como uma importante ferramenta para o desenvolvimento econômico nacional. Grande parte do crescimento da economia passa

necessariamente por este segmento, seja na construção de novas unidades industriais, função dos investimentos e do progresso, seja na ampliação das unidades existentes para atendimento das novas demandas, impostas pelas políticas de incentivo para fortalecimento dos mercados nacionais, ou simplesmente pela melhoria das infraestruturas necessárias ou requeridas por tais empreendimentos. Junto com esta responsabilidade, de desempenhar um papel estratégico na retomada do desenvolvimento de uma nação, surge o desafio para as organizações, que é o de se manterem competitivas, em um ambiente cada vez mais exigente e em constante evolução.

Neste cenário, a Gestão da Qualidade e o Gerenciamento de Projeto, despontam como os mecanismos capazes de possibilitar o atendimento ao objetivo mais primário do processo de construção, que segundo Yan et. al [17], se caracteriza pela conclusão do projeto no prazo e dentro do orçamento, incluindo o atendimento aos requisitos estabelecidos de qualidade e segurança, e outras especificações inerentes ao mesmo.

A Gestão da Qualidade se credencia como referencial para os empreendimentos de construção e montagem industrial, uma vez que proporciona os meios para que a empresa busque a excelência em todas as suas atividades [18].

Já o credenciamento do Gerenciamento de Projeto, se reflete no fato de que este é complementado pelo gerenciamento moderno da qualidade, visto que as duas disciplinas reconhecem a importância da satisfação do cliente, da prevenção ao invés de inspeção, da melhoria contínua e da responsabilidade da gerência.

Esta visão de complementação entre as duas disciplinas, fundamenta a importância do desenvolvimento de políticas e diretrizes da Qualidade, que tornem as empresas mais eficientes e eficazes na busca pelo sucesso. Ramos et al [19], afirma que:

“As organizações perceberam que a Gestão da Qualidade Total (GQT) é a melhor forma de alcançar sucesso a longo prazo nos negócios. Muitas descobriram as dificuldades de implementar uma política efetiva de GQT. Uma das principais razões é que elas falham na identificação do que estão tentando mudar e conseguir com a implementação. Se estes fatores não forem identificados, os recursos necessários e o comprometimento requerido para desenvolver uma abordagem efetiva, podem estar distorcidos com a realidade.”

Referências

- [1] R. B. Andrade, A indústria puxará o crescimento econômico do Brasil em 2020, Confederação Nacional da Indústria, 2020.
- [2] Confederação Nacional da Indústria (CNI), A indústria e o Brasil – uma agenda para crescer mais e melhor. <http://www.cni.org.br>, 2010 (acesso em 1 julho 2010).
- [3] C. E. Gondim, O Novo Ciclo de Investimentos na Indústria de Construção Civil e Infraestrutura – Agenda para o Futuro”, Relatório do Seminário “Novo Ciclo de Investimentos em Infraestrutura e a Transparência na Construção Civil, Abril, 2019.
- [4] J. C. Martins, Relatório do Seminário “Novo Ciclo de Investimentos em Infraestrutura e a Transparência na Construção Civil, Abril, 2019.
- [5] N. Slack, S. Chambers, R. Johnston, Administração da Produção, 3a Edição, São Paulo, Ed. Atlas, 2009.
- [6] M. M. Fabricio, S. B. Melhado, A importância do estabelecimento de parcerias construtora-projetistas para a qualidade na construção de edifícios. In: VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC 98.
- [7] E. S. Vieira, J. M. O. Neto, Qualidade na Construção Civil: PBQP-H análise do programa brasileiro de qualidade e produtividade do habitat, ETIS - Journal of Engineering, Technology, Innovation and Sustainability, 1 (2019) 54-64.
- [8] R. S. A. Abiko, Metodologia para desenvolvimento e implantação de sistemas de Gestão da Qualidade em empresas construtoras de pequeno e médio porte, Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- [9] C. J. Anumba, C. Baugh, M. M. A. Khalfan, Organizational structures to support concurrent engineering in construction, Industrial Management & Data Systems, 102 (2002) 260- 270.

- [10] T. Pfeifer, R. Schmitt, T. Voigt, Managing change: quality-oriented design of strategic change processes, *The TQM Magazine*, 17 (2005) 297–308.
- [11] ABNT NBR ISO 9000. *Sistemas de Gestão da Qualidade – Fundamentos e Vocabulário*. ABNT, 2015.
- [12] E. A. A. Guedes Filho, G. Camarini, N. W. Dias, Gerenciamento da Qualidade do Projeto: análise crítica da produção científica nacional de 1996 a 2006. In: XI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação - Universidade do Vale do Paraíba.
- [13] A. R. Gomes, S. F. Gomes Júnior, Aplicação da filosofia Lean Construction para o gerenciamento de obras no município de Itaperuna – RJ, INGEPRO.
- [14] W. Tang, M. Qiang, C. F. Duffield, D. M. Young, Y. Lu, Enhancing Total Quality Management by partnering in construction, *Journal of Professional Issues in Engineering, Education and Practice*, ASCE, October (2009) 129-141.
- [15] N. Biga, V. Abrantes, Monitoring construction quality management systems: quality cost-benefit analysis, In: XXXII World Congress on Housing – Sustainability of the Housing Projects, September 21 – 25, Trento, Italy, 2004.
- [16] A. L. Conte, G. R. Durski, *Qualidade. Coleção Gestão Empresarial*, 51 - 60.
- [17] W. Yan, J. Niu, A study on the performance evaluation of construction project integrated management, In: 14th International Conference on Management Science & Engineering, 2351–2356, 2007.
- [18] A. Srdoc, A. Sluga, I. Bratko, A Quality Management Model Based on the “Deep Quality Concept”, In: *International Journal of Quality of Reliability Management*, 22 (2005) 278-302.
- [19] A. F. B. Ramos, *Medição da maturidade em Gestão de Projetos de Sistemas de Gestão Integrada: um estudo de caso na área de petróleo e energia*, Dissertação (Mestrado em Sistema de Gestão) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, 2009.

ORCID ID

Marcelo Henrique de Moraes Mattos 0009-0008-4074-7009 (<https://orcid.org/0009-0008-4074-7009>)