

VOLUME VI

# **ENGENHARIA: CRIAÇÃO, CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO**



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Frederico Celestino Barbosa

Engenharia: criação, construção e manutenção

6ª ed.

Piracanjuba-GO  
Editora Conhecimento Livre  
Piracanjuba-GO

6ª ed.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Barbosa, Frederico Celestino  
B238E Engenharia: criação, construção e manutenção

/ Frederico Celestino Barbosa. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2021

169 f.: il

**DOI:** 10.37423/2021.edcl405

**ISBN:** 978-65-5367-052-5

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. projetos 2. implantação 3. desenvolvimento 4. sistemas I. Barbosa, Frederico Celestino II. Título

CDU: 620

<https://doi.org/10.37423/2021.edcl405>

**O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.**

# EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

## **Corpo Editorial**

Dr. João Luís Ribeiro Ulhôa

Dra. Eyde Cristianne Saraiva-Bonatto

MSc. Frederico Celestino Barbosa

MSc. Carlos Eduardo de Oliveira Gontijo

MSc. Plínio Ferreira Pires

**Editora Conhecimento Livre**

**Piracanjuba-GO**

**2022**



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>6</b>
INCORPORAÇÃO DE NANOSSÍLICA EM MISTURAS COMBINADAS CONTENDO MATERIAIS CIMENTÍCIOS SUPLEMENTARES (MCSS): UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA	
Jayme de Melo Ribeiro	
Jéssica Fall Nogueira Chaves	
João Henrique da Silva Rêgo	
<b>DOI 10.37423/220105210</b>	
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>24</b>
DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA VIRTUAL DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO	
André Luiz Amarante Mesquita	
Manoel José dos Santos Sena	
Paulo Santana Rocha	
<b>DOI 10.37423/220105212</b>	
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>35</b>
CONTRIBUIÇÕES DA GESTÃO DA MANUTENÇÃO PARA A MELHORIA DOS SERVIÇOS DE UM LABORATÓRIO PÚBLICO DE ANÁLISES CLÍNICAS DO RECIFE/PE	
Adeiza Sandra Dantas de Farias	
Adriana Salete Dantas de Farias	
<b>DOI 10.37423/220105230</b>	
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>50</b>
PROJETOS INTEGRADORES: UMA REFLEXÃO SOBRE A APLICAÇÃO DE EXPERIÊNCIAS COM BASE NA APRENDIZAGEM ORIENTADA POR PROJETOS	
Rafael Nunes Torres	
Rafael Fernando Mendonça de Alencar	
Antônio Julien Bertin Robert Koffi N'Guessan	
Dianne Magalhães Viana	
Ana Carolina Kalume Maranhão	
daniela.garrossini@gmail.com	
<b>DOI 10.37423/220105259</b>	
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>64</b>
OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS UTILIZANDO GRG, SOLVER E EXCEL	
Marco Antônio Rahal Sacoman	
<b>DOI 10.37423/220105260</b>	
<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>82</b>
DOMÍNIOS DE DEFORMAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO: UMA NOVA ABORDAGEM PARA O ENSINO	
Kléos Magalhães Lenz César Júnior	
Reginaldo Carneiro da Silva	
<b>DOI 10.37423/220105261</b>	

<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>98</b>
LIGAÇÕES METÁLICAS E SUAS LIGAS - INTER-RELAÇÕES ENTRE AS DIFERENTES ÁREAS DE ATUAÇÃO DOS ENGENHEIROS	
Ana M. C. Grisa	
Valquíria Villas-Boas	
Edson L. Francisquetti	
MaraZeni Andrade	
Rosmary N. Brandalise	
<b>DOI 10.37423/220105263</b>	
<b>CAPÍTULO 8 .....</b>	<b>106</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM MICROINVERSOR DE BAIXO CUSTO UTI-LIZANDO CIRCUITO BOOST COM CONTROLADOR PROPORCIONAL RESSONANTE	
Renan Figueredo da SILVA	
Walter Andrés Vermehren VALENZUELA	
Victor E. Vermehren Valenzuela	
<b>DOI 10.37423/220105274</b>	
<b>CAPÍTULO 9 .....</b>	<b>123</b>
SISTEMA DE MÓDULOS NO ENSINO DE CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL NO INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA (IME)	
Gustavo Rocha Silva	
Jorge Luís Rodrigues Pedreira Cerqueira	
Marcelo de Araújo Oliveira	
Nelson Antônio Borges Garcia	
Vinícius Melquíades Cunha	
<b>DOI 10.37423/220205298</b>	
<b>CAPÍTULO 10 .....</b>	<b>131</b>
UMA ALTERNATIVA PARA O ENSINO DA DISCIPLINA DE SELEÇÃO DE MATERIAIS NOS CURSOS DE ENGENHARIA	
ODNEY CARLOS BRONDINO	
Filippe de C. Bernardino	
Renan P. de Godoi	
Sandro J. V. Torres	
<b>DOI 10.37423/220205306</b>	

**CAPÍTULO 11 ..... 147**

CONSTRUÇÃO DE UM DESIDRATADOR PARA SECAGEM DE FRUTAS NO PROCESSO DE ENSINO/APRENDIZAGEM DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA

Eliana Janet Sanjinez-Argandoña

Orlando Moreira Junior

José Carlos Venturini

Kaio Vasconcelos de Oliveira

Diego Bonfim Souza

Lucio Satoru Fatori Trevizan

Gisele Fernanda Alves da Silva

Silvia Sayuri Yahagi

**DOI 10.37423/220205313**

**CAPÍTULO 12 ..... 158**

VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE AGREGADOS RCC EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO NO DISTRITO FEDERAL

MARUSKA LIMA DE SOUSA HOLANDA

**DOI 10.37423/220205314**

# Capítulo 1



10.37423/220105210

## INCORPORAÇÃO DE NANOSSÍLICA EM MISTURAS COMBINADAS CONTENDO MATERIAIS CIMENTÍCIOS SUPLEMENTARES (MCSS): UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

*Jayme de Melo Ribeiro*

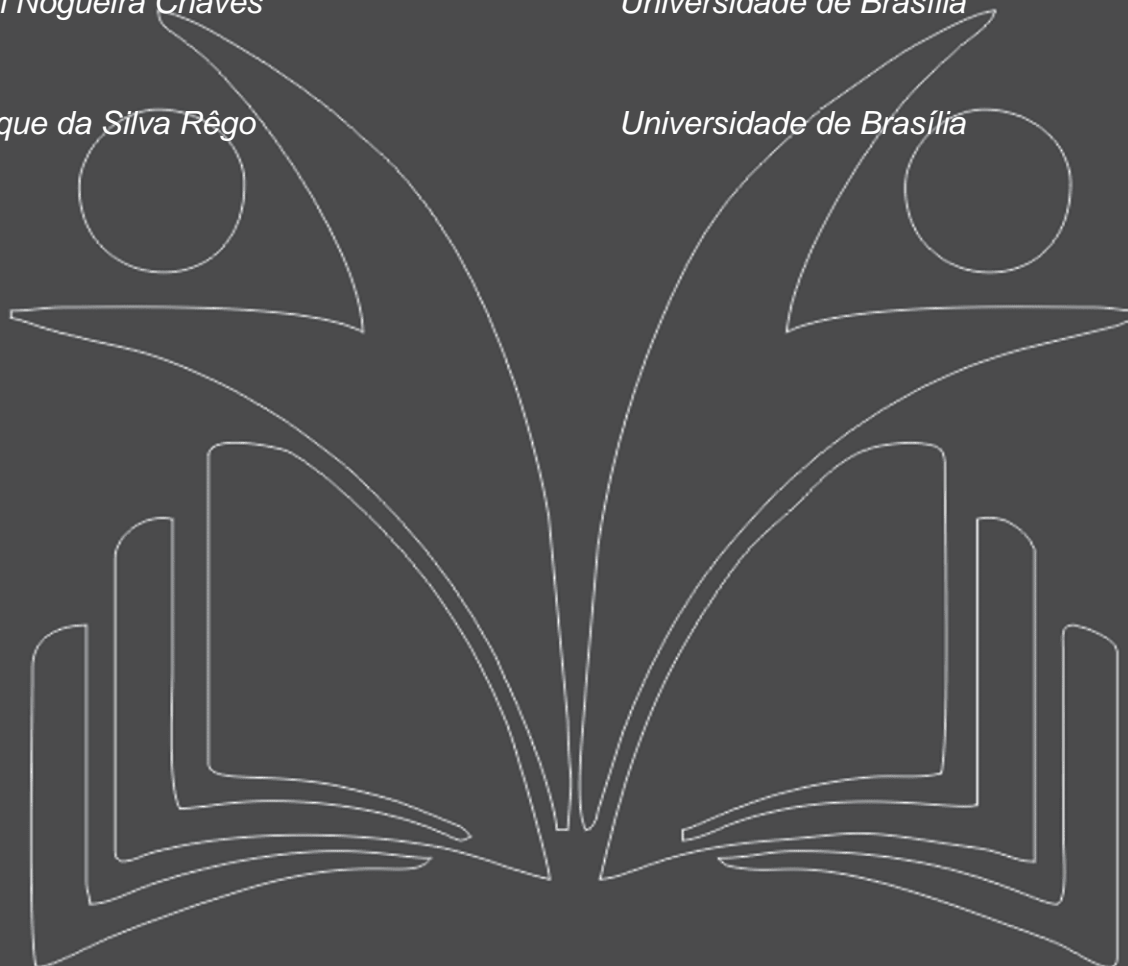
*Universidade de Brasília*

*Jéssica Fall Nogueira Chaves*

*Universidade de Brasília*

*João Henrique da Silva Rêgo*

*Universidade de Brasília*



**Resumo:** A necessidade em melhorar cada vez mais as propriedades de materiais cimentícios vem crescendo continuamente ao longo dos anos e para isso, a utilização de materiais cimentícios suplementares (MCSS) se faz imprescindível, tendo em vista que a incorporação desses materiais ao concreto proporciona melhora tanto nas propriedades mecânicas quanto na durabilidade. Considerando que a utilização de MCSS é uma das formas mais eficientes de diminuição da emissão de CO<sub>2</sub> oriunda da produção do cimento Portland, a substituição em teores crescentes de clínquer, apesar de eficiente em termos ambientais, prejudica as propriedades mecânicas em idades iniciais, como abordado em estudos recentes. Dessa maneira, o advento da nanotecnologia faz com que a utilização de nanossílica se torne uma alternativa para mitigar esses efeitos, proporcionando um efeito combinado com o MCSS. O presente trabalho tem por objetivo realizar um levantamento bibliométrico a respeito da incorporação de nanossílica em misturas ternárias de cimento Portland contendo MCSS por meio da metodologia de Mapeamento Sistematizado da Literatura (MSL). O levantamento realizado desses dados teóricos e experimentais proporcionou uma melhor compreensão da incorporação da nanossílica em misturas ternárias, bem como pôde fornecer informações quanto potencialidade de utilização desses materiais combinados.

**Palavras-chave:** Materiais cimentícios suplementares; nanossílica; misturas ternárias; levantamento bibliográfico;



## 1. INTRODUÇÃO

Desde o advento do concreto como o segundo material mais consumido no mundo, a necessidade em melhorar cada vez mais as propriedades de compósitos cimentícios vem crescendo continuamente. Com isso, o avanço da tecnologia do concreto aliado com a ciência e engenharia dos materiais permitiu o desenvolvimento de produtos que puderam proporcionar aos materiais cimentícios características de alta performance.

Com o intuito de aumentar o desempenho dessas matrizes, a utilização de materiais cimentícios suplementares (MCSs) em misturas de cimento Portland têm sido alvo de análise em várias pesquisas. Estes materiais agem não somente melhorando as propriedades reológicas, mecânicas e aspectos de durabilidade das misturas, mas também de modo a mitigar os efeitos ambientais oriundos da indústria cimenteira mundial, causados pela elevada produção de cimento Portland para atender à crescente demanda.

Esta elevada demanda por materiais cimentícios causa problemas ambientais graves, no que tange emissões de gases de efeito estufa. Com isso, as emissões totais da indústria de cimento têm contribuído com até 8% das emissões globais de CO<sub>2</sub> (VIZCAÍNO-ANDRÉS ET AL. [1], ANDREW [2]), existindo dois principais aspectos da produção de cimento que resultam em emissões de gases poluentes. O primeiro é a reação química envolvida na produção do principal componente do cimento, o clínquer. A segunda fonte de emissões é proveniente da combustão de combustíveis fósseis para gerar a energia significativa necessária para aquecer os ingredientes brutos a mais de 1000 °C (ANDREW [2]).

Paralelamente ao contexto supracitado, o ramo da nanotecnologia vem se desenvolvendo continuamente nos últimos anos. Dessa forma, pode-se definir a nanotecnologia como um ramo da ciência que estuda materiais em escala nanométrica, apresentando comportamentos específicos devido ao seu tamanho de partículas muito reduzido, além dos efeitos de área superficial muito elevada (ANDRADE [3]). Por conseguinte, nanoestruturas e nanomodificações podem levar a materiais compósitos completamente distintos em escala macroscópica, refletidos também em suas propriedades e desempenho. Tendo em vista a possibilidade de inúmeros benefícios ao concreto, diversos nanomateriais estão sendo desenvolvimentos e aplicados a misturas com cimento Portland, sendo os mais efetivos: nanossílica, dióxido de titânio, óxido de ferro III, óxido de cromo III, nano argilas, carbonato de cálcio, alumina, nanotubo de carbono e óxido de grafeno. (SILVESTRE, SILVESTRE E BRITO [4]).

Dentre os nanomateriais existentes, a nanossílica está disponível tanto em pó quanto na forma coloidal e contém alta quantidade de sílica amorfa, quando comparada com sílica ativa, com isso, a reação pozolânica da nanossílica é relativamente 40 a 60 vezes maior do que sílica (VARGHESE, KANTARAO E PARAMESWARAN [5]). Adicionalmente, devido a nanossílica promover melhorias na microestrutura e também estabelecer um sistema cimentícios mais estável (YILDIRIM *ET AL.* [6]), Roychand, Silva, De e Setunge [7] consideram esse nano material como o mais eficaz e com maior potencial de melhoria das propriedades dos compósitos de cimento

Haja vista o contexto ambiental associado à utilização do concreto em demasia, existem pelo menos três alternativas para redução das emissões de carbono, sendo elas: eficiência térmica e elétrica, utilização de combustíveis alternativos e adições ou substitutos de clínquer. Scrivener *et al.* [8] cita que dentre estas opções a que possui maior eficiência é a utilização adições ou substitutos ao clínquer, fazendo com que a utilização de materiais cimentícios suplementares (MCSSs) se torne uma tendência mundial nas plantas de cimento.

## 2. METODOLOGIA

Este trabalho foi elaborado por meio do método de Mapeamento Sistematizado da Literatura (MSL), tendo em vista sua facilidade de compreensão e versatilidade em vários tipos de análises. Marsilo *et al.* [9] citam que esta técnica promove tentativas de quantificação da estrutura intelectual de um campo de pesquisa mediante uma análise matemática e estatística de padrões que aparecem em publicações. Haja vista que a utilização de MCSSs e nanossílica em matrizes cimentícias é um ramo da ciência que vem crescendo em vários países, a realização do MSL é fundamental para entender como está ocorrendo essa evolução na produção científica na temática.

A utilização do MSL permite uma visão mais ampla a respeito do contexto abordado. Para que este método tenha eficácia, uma série de procedimentos devem ser realizados de forma sistemática. A figura 1 mostra a sequência desses procedimentos, onde primeiramente foi definido a base de dados na qual seria feita a busca por estudos, seguido da definição da *Strings* de busca, definição das condições de contorno e, por fim, definição dos critérios de seleção.

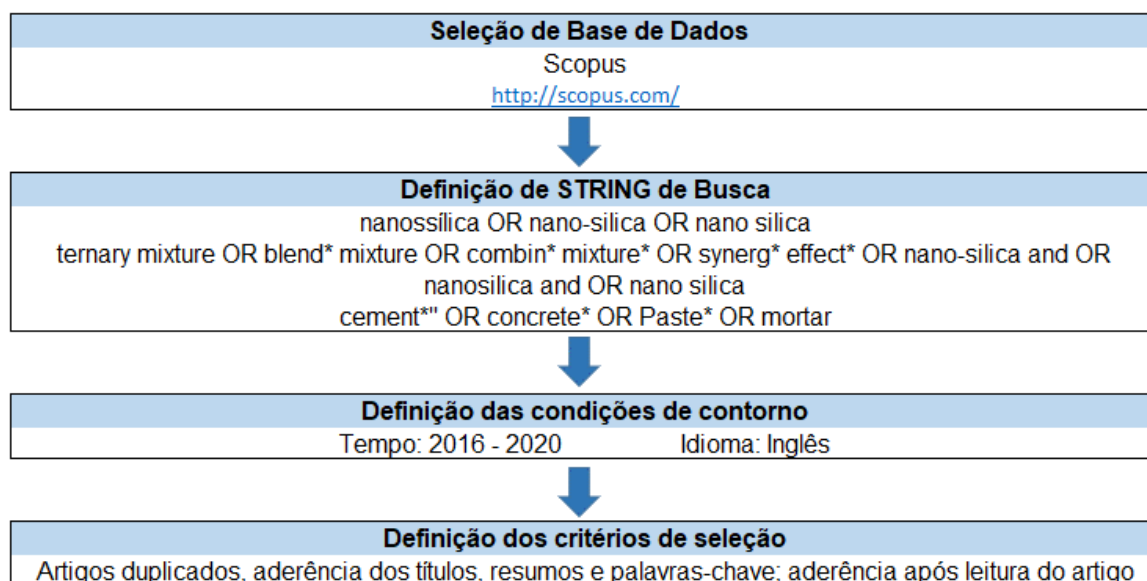


Figura 1 – Procedimentos sistematizados para análises dos artigos

A pesquisa deste estudo foi restrita a base de dados *Scopus*, a julgar que esta é uma das mais relevantes bases de conhecimento, devido a quantidade de estudos indexadas na plataforma. Adicionalmente, a escolha por essa base foi realizada tendo em vista o estudo de Chadegani *et al.* [10], no qual os autores realizaram comparações quanto as características quantitativas e qualitativas entre as bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, concluindo que a *Scopus* possui uma abrangência maior de revistas científica, embora estas possuam impacto menor, e também maior quantidade de artigos recentes

De forma a complementar a análise dos resultados de busca na plataforma *Scopus*, realizou-se um detalhamento dos dados extraídos da base a partir das *Strings* estabelecidas. Estes dados foram aplicados ao software VOSviewer 1.6.9 para que resultados de mapas de densidade, que interacionam parâmetros a partir de suas ocorrências, pudessem ser obtidos. Os artigos encontrados a partir das *Strings* presentes na figura X foram filtrados de forma a estabelecer apenas aqueles que se enquadrassem na temática proposta no estudo. Dessa forma, os parâmetros utilizados para filtragem foram os propostos por Falcão *et al.* [11], sendo eles: exclusão dos textos duplicados, leituras dos títulos, resumos e palavras-chave para avaliar a adequação ao tema e leitura integral dos artigos para constatar sua aderência ao tema.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O mapeamento aplicado à base de dados *Scopus* resultou em 433 publicações. Com o procedimento de filtragem descrito na figura 1, restaram 125 artigos aderentes à temática de utilização em conjunto de materiais cimentícios suplementares (MCSs) e nanossílica em matrizes cimentícias. Destaca-se que alguns dos trabalhos descartados não se enquadravam em misturas contendo cimento Portland, bem como não apresentavam misturas combinando MCSs com nanossílica, realçando assim a importância etapa de leitura na íntegra dos artigos obtidos na busca.

De forma organizar as informações obtidas na busca sistematizada das publicações, optou-se por produzir tabelas que condensassem informações acerca da publicação, das características da nanossílica utilizada no referido estudo e da matriz cimentícia analisada. Os parâmetros analisados estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros utilizados para organização das informações obtidas a partir dos procedimentos de filtragem

Publicação	Título
	Autores
	Ano de publicação
	Journal
Características da nanossílica	Tipo de nanossílica
	Superfície específica
	Teor de sólidos
	Diâmetro médio
Matriz cimentícia	Teor em relação à massa de cimento
	Tipo de matriz
	Relação água/cimento
	Tipo de mistura
	MCSs combinado

#### 3.1 ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE PUBLICAÇÃO

##### I Evolução da produção no campo

A partir da análise da figura 2 é possível notar períodos de estabilização e crescimento de produções científicas englobando a combinação de MCSs e nanossílica. Destaca-se que houve um aumento significativo no número de trabalhos do ano de 2017 para 2018, bem como uma diferença de um artigo

Ano	Nº de publicações
2016	21
2017	21
2018	38
2019	37
2020	8

ii. Local de publicações e principais fontes

Journal	Number of Publications
ACI Materials Journal	1
Advances in Cement Research	2
Advances in Concrete Construction	1
Advances in Materials Science and Engineering	1
AIIM Journal of Engineering and Construction	1
Asian Journal of Civil Engineering	1
Cement and Concrete Composites	3
Cement and Concrete Research	2
Ceramics International	1
Ceramics International	1
Composites Part B: Engineering	1
Construction and Building Materials	43
Construction Research Congress 2016	1
E3S Web of Conferences	1
Egyptian Journal of Chemistry	1
Engineering Challenges for Sustainable Development	1
European Journal of Environmental Engineering	1
European Physical Journal Plus	1
Fire and Materials	1
Frontiers of Structural and Civil Engineering	1
Geosystem Engineering	1
Geotechnical and Structural Engineering	1
International Journal of Civil Engineering	8
International Journal of Civil Engineering	1
International Journal of Innovation in Construction	1
International Journal of Recycled Materials	1
ISOP Conference Series: Materials	4
Journal of Building Engineering	1
Journal of Cleaner Production	1
Journal of Composite Materials	1
Journal of Engineering and Applied Science	1
Journal of Engineering Science and Technology	1
Journal of Materials in Civil Engineering	1
Journal of Materials Research and Engineering	1
Journal of Nano Research	1
Journal of Physics: Conference Series	1
Journal of Sustainable Construction	1
Journal of Sustainable Construction	1
Journal of the American Ceramic Society	1
Journal of Thermal Analysis and Calorimetry	1
Journal of Urban and Environmental Engineering	1
MATEC Web of Conferences	1
Materials	2
Materials Science Forum	1
Materials Today: Proceedings	1
Materials Today: Proceedings	1
Metallurgia	1
Nanocomposites	1
Procedia Structural Integrity	1
Revista de Materia	1
Revista Romana de Materiale	1
RIIM Bookseries	1
Scientia Iranica	1
Structural Concrete	1
Sustainable Construction Materials and Technologies	1

12



### 3.2 CARACTERÍSTICAS DA NANOSSÍLICA

Este tópico foi elaborado com intuito de evidenciar as características predominantes na nanossílica utilizada em trabalhos recentes, tendo em vista que alterações de suas características se relacionarão diretamente com os resultados obtidos a partir da análise da microestrutura da matriz cimentícia. Destaca-se que os trabalhos aderentes à temática de misturas combinadas foram lidos na íntegra, com isso, pôde-se verificar que alguns trabalhos não apresentaram a caracterização completa desse nanomaterial.

#### i. Tipo de nanossílica

O produto final resultante desses processos de fabricação da nanossílica pode ser na forma dispersa em uma solução aquosa e a nanossílica em pó. A figura 4 mostra o resultado da análise das publicações aderentes. Nota-se que há uma parcela desses artigos que não informa de forma explícita o tipo de nanossílica empregada no estudo. Com isso, no total de artigos analisado, 45% utilizaram o material na sua forma coloidal, 29% utilizaram em pó e 26% não informaram tipo empregado.

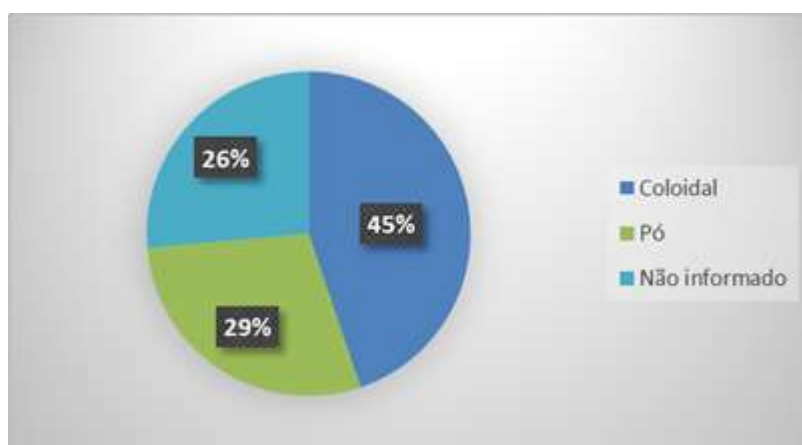


Figura 4 – Distribuição dos artigos quanto ao tipo de nanossílica utilizada no estudo

#### ii. Superfície específica

A superfície específica de material cimentício suplementar é um parâmetro imprescindível para avaliar seus efeitos em matrizes cimentícias, tendo em vista que esta propriedade se relaciona diretamente com a reatividade desse nanomaterial. Esta propriedade da nanossílica presente nos trabalhos está descrita na figura 5. Dentre os artigos aderentes, 60 deles não informaram a superfície específica, dificultando assim uma análise a partir desse parâmetro. A nanossílica com superfície específica igual a 200 cm<sup>2</sup>/g é a que teve a maior ocorrência dentre os estudos filtrados.

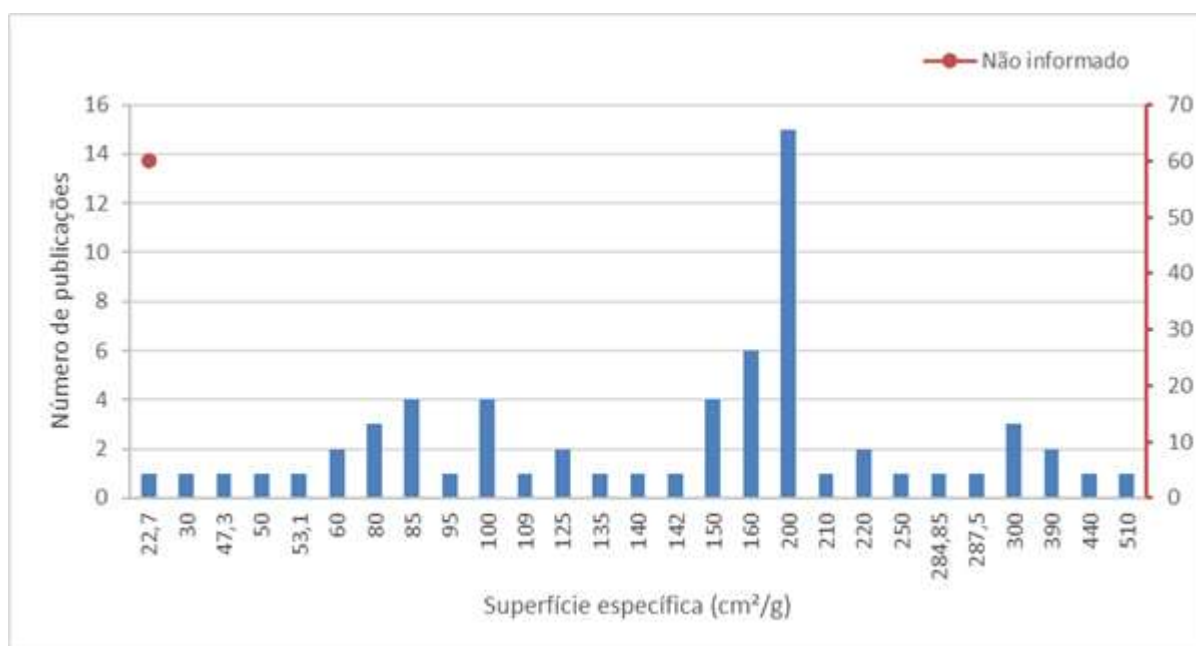


Figura 5 – Distribuição do resultado do ensaio de superfície específica utilizados nos estudos aderentes

### iii. Teor de sólidos

Este parâmetro está relacionado diretamente com o tipo de nanossílica coloidal. Tendo em vista que as partículas sólidas são dispersas uma solução aquosa, se faz necessário conhecer o teor de sólidos nessa solução, haja vista que são as partículas sólidas que agiram como agentes de formação de hidratados adicionais na matriz. Adicionalmente, conhecer o teor de sólidos é imprescindível tendo em vista que a dosagem errada de nanossílica poderá alterar relação água/cimento da mistura, promovendo assim um resultando errôneo.

A figura 6 mostra a quantidade que publicações que informaram o teor de sólidos da nanossílica. Dentre os artigos aderentes, 91 não informam o teor de sólidos da nanossílica utilizada. Com isso, dentre os 56 artigos que utilizaram nanossílica coloidal, 34 informaram o teor de sólidos. Destaca-se que o teor de sólidos variou de 0,5 a 50%, sendo os teores de 30 e 40% os mais presentes nas publicações.

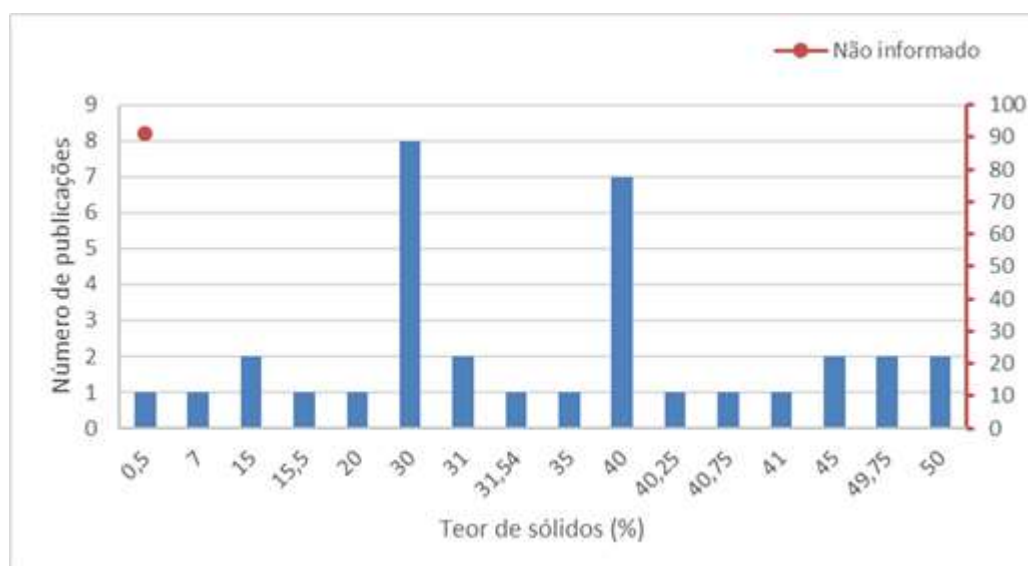


Figura 6 – Distribuição dos teores de sólidos da nanossílica coloidal nos artigos aderentes à temática  
iv. Diâmetro médio das partículas

O diâmetro das partículas de materiais cimentícios suplementares é outro parâmetro que está relacionado diretamente com reatividade deste material, bem como o desempenho final da matriz cimentícia produzida. A figura 7 mostra que 30 artigos não informaram o diâmetro de NS não utilizados. O diâmetro que mais ocorreu nos artigos filtrados foram 12, 15 e 25 nm.

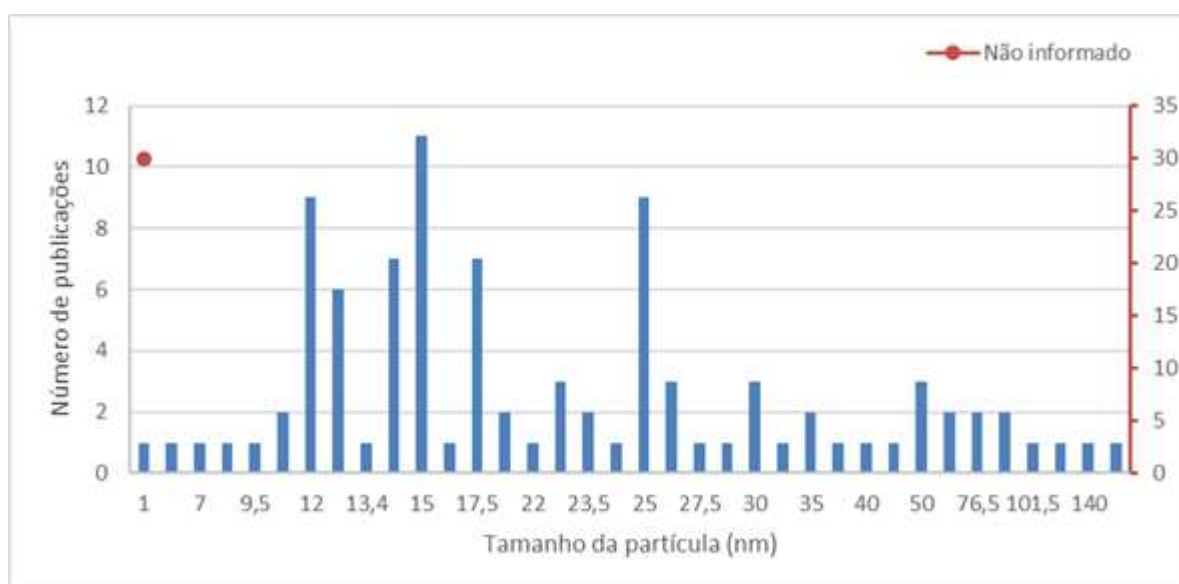


Figura 7 – Distribuição dos tamanhos de partículas utilizadas nos artigos

### 3.3 ANÁLISE DA MATRIZ CIMENTÍCIA

I Teor de substituição em relação à massa de cimento

Tem em vista a elevada superfície específica e, principalmente o tamanho das partículas, a nanossílica demanda uma elevada relação água/cimento, bem como elevadores teores de aditivo. Nesse contexto, teores baixos de substituição de nanossílica se fazem presente dentro dos resultados obtidos a partir da busca bibliométrica, como mostra a figura 8. Os teores obtidos nos artigos analisados variaram entre 0,025 e 20%, fato que pode ser atribuído a elevada variação dos parâmetros físicos da nanossílica, como superfície específica e tamanho da partícula. Adicionalmente, os teores que mais aparecem nos estudos aderentes são 1,2,3 e 4% com 62, 55, 53 e 28 publicações, respectivamente.

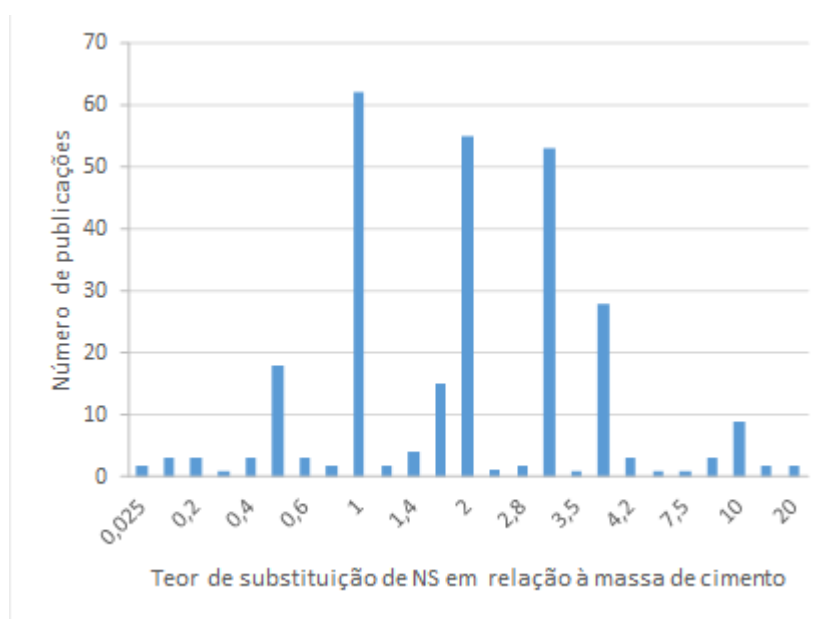


Figura 8 – Teores de substituição de nanossílica nos artigos filtrados

## ii. Tipo de matriz e tipo de mistura

A figura 9A e 9B mostram o tipo de matriz e o tipo de mistura dos referidos artigos aderentes. É possível verificar que a maior parte os estudos envolvem a análise em concretos, resultando em publicações que avaliam a sinergia de MCSs apenas no se refere às propriedades mecânicas. Adicionalmente, as análises envolvendo nanossílica estão presentes em maior parte nas misturas ternárias, sendo uma mistura de cimento Portland, nanossílica e algum tipo de material cimentício suplementar.

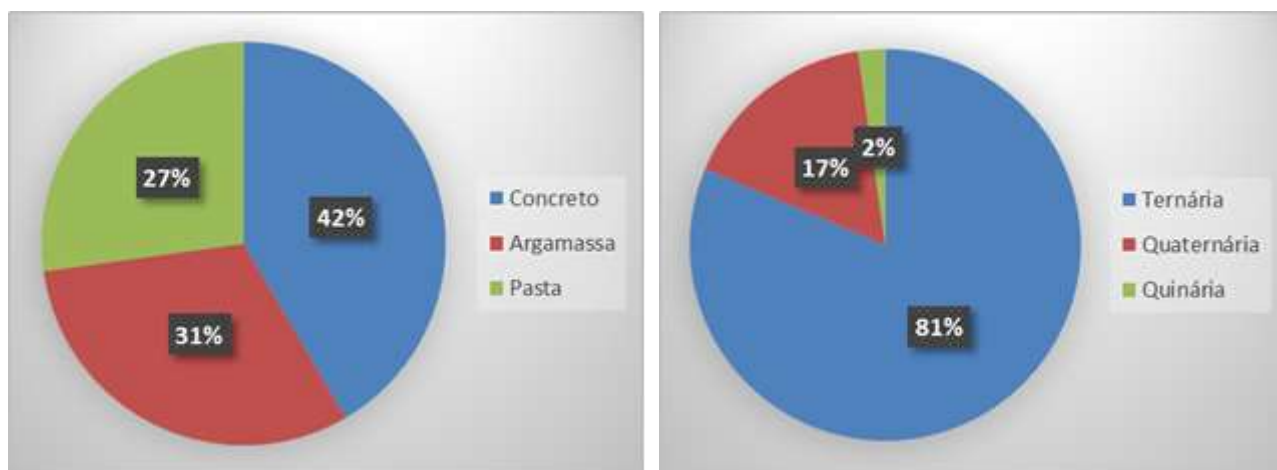


Figura 9 – A) Tipo de matriz presente nos estudos filtrados B) Tipo de mistura utilizada para análises dentro das publicações filtradas

### iii. Relação água/aglomerante

No que tange a relação água/cimento, nos artigos aderentes à temática este parâmetro variou de 0,15 a 0,9. É imprescindível que este parâmetro seja adotado de forma correta, tendo em vista que a inadequação poderá impedir que qualquer efeito do emprego de MCSs e nanossílica seja detectado. Destaca-se que a relação água/aglomerante que mais ocorre é a 0,35 e 0,30.

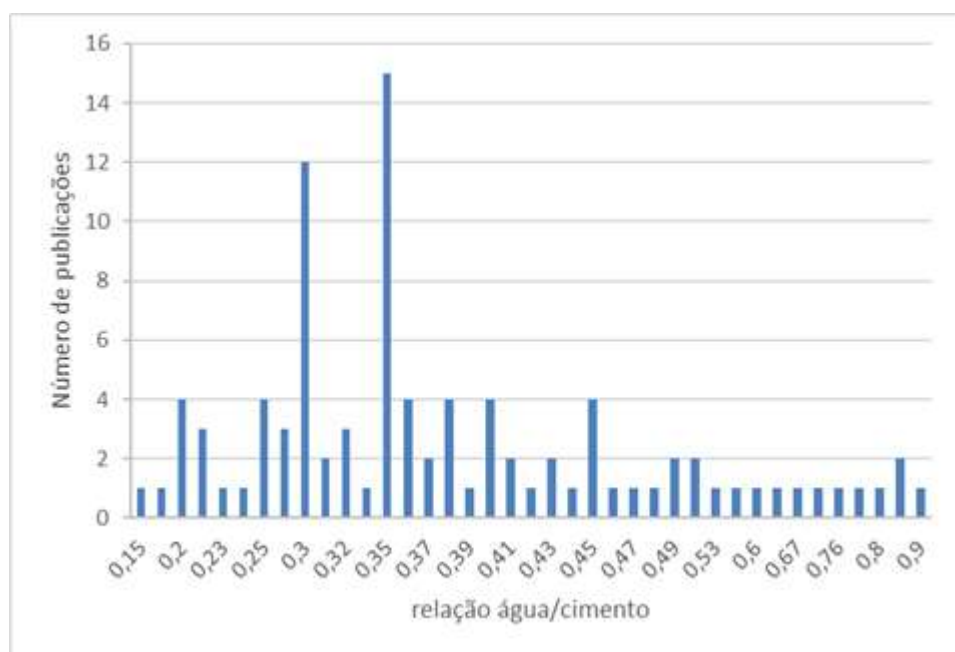


Figura 10 – Distribuição da relação água/cimento nos trabalhos avaliados

### iv. Materiais cimentícios suplementares utilizados para combinação (MCSs)

Tendo em vista o contexto ambiental associado ao consumo mundial de cimento Portland, a incorporação de materiais cimentícios suplementares permite que parte do clínquer utilizado seja



substituído. Dessa forma, ao todo 10 MCSs foram utilizados dentro dos 125 artigos resultantes da filtragem, como mostrado na figura 11. Os MCSs mais utilizados em análises de misturas com nanossílica foram a cinza volante, sílica ativa, escória de alto forno e metacaulim, evidenciando-se o uso intenso de subprodutos das indústrias. No entanto, estudos recentes (SCRIVENER ET AL. [8]) citam que geração desses subprodutos não acompanharão a demanda mundial por cimento Portland no futuro, evidenciando a necessidade de estudos que avaliem o efeito de MCSs naturais nas matrizes cimentícias, como o calcário e argila calcinada.



Figura 11 – Distribuição dos materiais cimentícios suplementares nas publicações aderentes após filtragem

### 3.4 ANÁLISE DAS RELAÇÕES A PARTIR DO VOSVIEWER

A ferramenta VOSviewer foi desenvolvida na Leiden University, na Holanda, e provê uma interface de fácil utilização para visualizar e analisar redes bibliométricas e sociométricas. Dessa forma, a ferramenta utiliza um método de visualização baseado na distância entre os nós da rede analisada, de modo que a distância entre dois nós indica aproximadamente a intensidade da relação entre eles, sendo tal relação tão maior quanto menor for a distância (VAN ECK & WALTMAN [12]).

Neste estudo, as análises no software foram realizadas em termos de ocorrência das palavras chave, relação de publicações entre países e autores. Os parâmetros utilizados para realização da análise no software foram: citação, onde são apenas listados os países que colaboram para a publicações dentro dos 125 artigos filtrados, acoplamento bibliográfico para analisar a relação entre as publicações dos autores, tendo em vista que este parâmetro utiliza o número de referências compartilhadas como uma medida de similaridade entre eles e por fim, utilizou-se o parâmetro de co-ocorrência de palavras-chave, utilizando o método de *full counting* para varredura do título, resumo e palavras-chave.

A figura 12 mostra o resultado da leitura do algoritmo para os países das publicações filtradas. Tendo em vista a utilização do parâmetro citação nessa análise, o mapa de densidade é mostrado em função do número de publicações, estando a Índia a frente com um total de 20 documentos, seguida por China e Irã com 18 e 17 documentos, respectivamente. No entanto, ao analisar a força de rede dessas publicações o Irã mostra-se com uma força de rede de 44, o que mostra uma maior correlação entre as publicações.

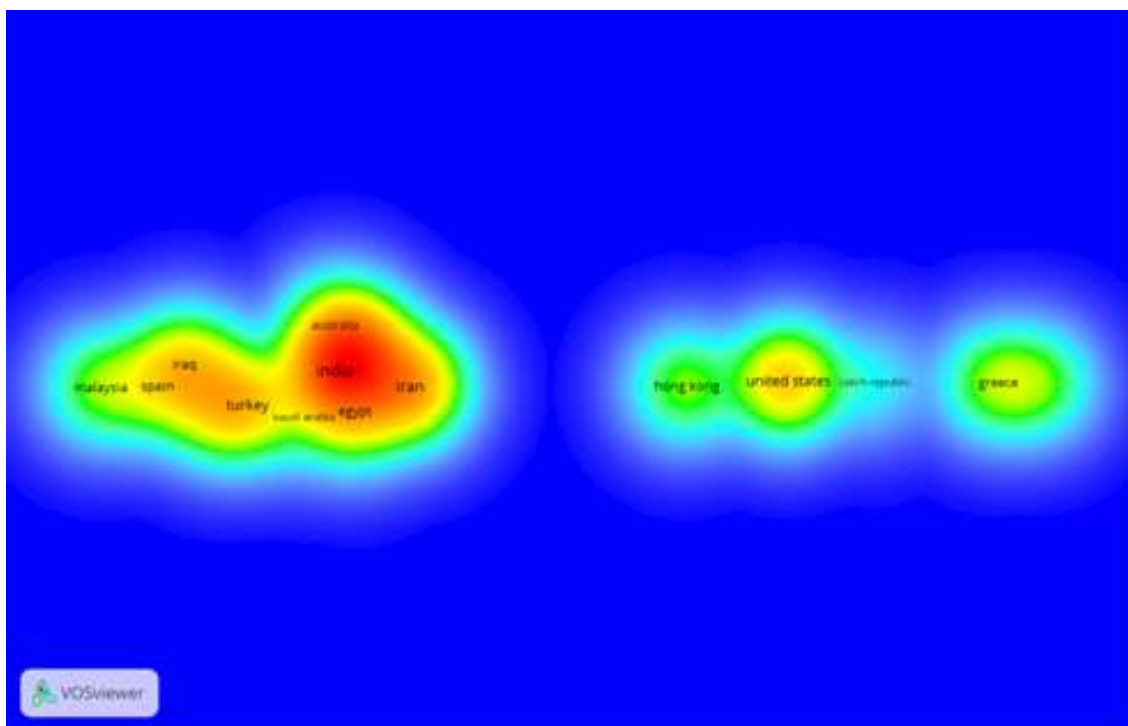


Figura 12 – Mapa de densidade relacionando os países das publicações aderentes

Ao analisar a ocorrência dos autores pelo parâmetro de acoplamento bibliográfico, o algoritmo do software plotou o mapa de densidade apresentado na figura 13. Os resultados mostraram os autores Bernal J., León N., Massana J. e Reyes E. empatados com uma força de link total de 581.

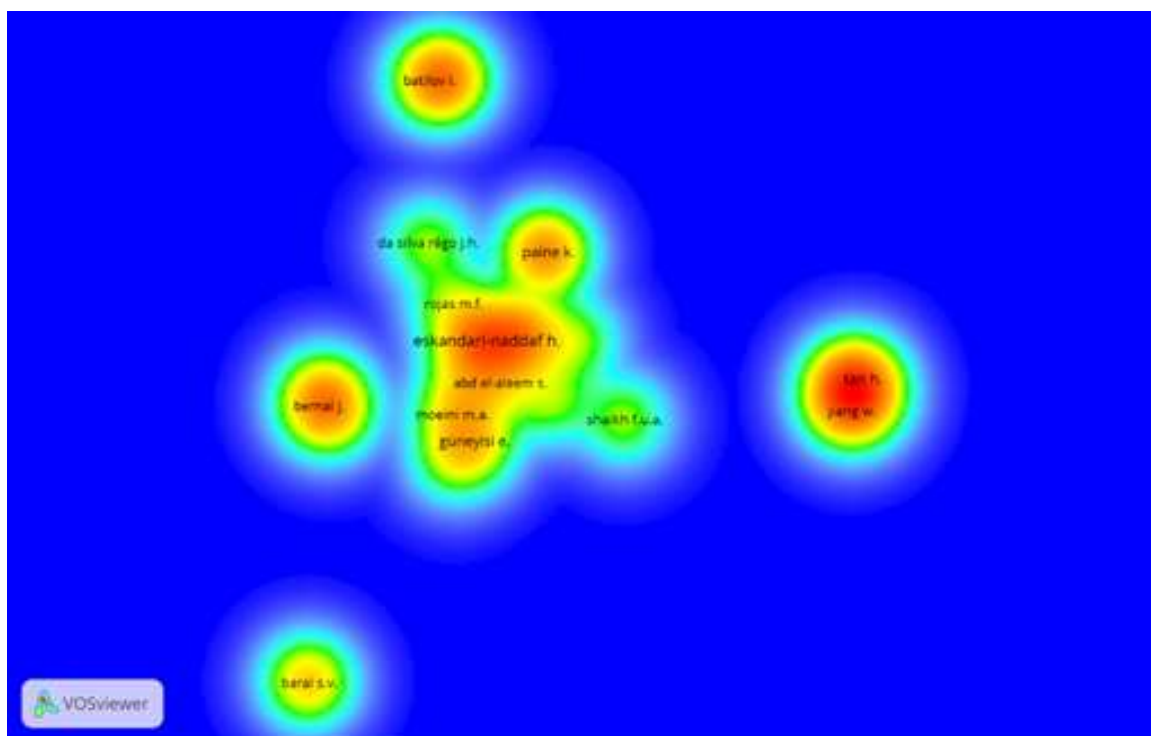


Figura 13 – Mapa de densidade relacionando os autores presente nos artigos filtrados

A ocorrência de palavras-chave permite ter uma visão ampla de temas mais abordados nas informações obtidos após filtragem. Adicionalmente, esta análise permite a descoberta de novas palavras chave e pode ser utilizada como uma maneira de identificar o atual cenário que se enquadra novas pesquisas. Ao analisar a força total de rede das palavras-chave, as que mais se destacam são *compressive strength*, *sílica*, *cements* e *nano-silica*, com força de rede 1004, 857, 592 566, respectivamente. Pode-se inferir que a força do termo resistência à compressão é alto devido os resultados da figura 14 mostrarem que o tipo de matriz mais estudada é o concreto, sendo estes estudos mais suscetíveis a utilização dessa variável de respostas.

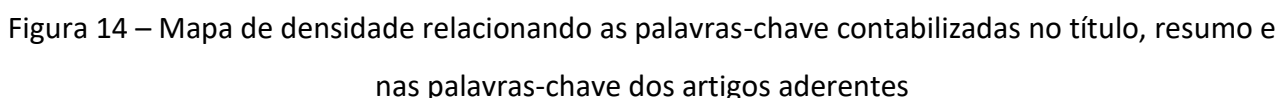
[illegible]

Figura 15 – Mapa de densidade relacionando as palavras-chave contabilizadas no título, resumo e nas palavras-chave dos artigos aderentes

## CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo realizar uma revisão bibliométrica acerca da utilização de materiais cimentícios suplementares em misturas contendo nanossílica. Dessa forma, foi possível concluir que o interesse por esta temática tem avançando nos últimos 5 anos, e com isso algumas lacunas no conhecimento puderam ser identificados, dentro deste tema destaca-se a escassez de trabalhos que apresentem uma caracterização completa e adequada da nanossílica, bem como estudos que abordem a sinergia entre nanossílica e materiais cimentícios suplementares naturais, tendo em vista que os resultados mostram predominância de subprodutos da indústria. Embora este tema esteja sendo desenvolvido e abordado por vários pesquisadores, a partir da análise do VOSviewer, pode-se concluir que não há tanta colaboração entre os países e pesquisadores elencados.



## REFERÊNCIAS

- [1] Vizcaíno-Andrés, L. M.; Sánchez-Berriel, S.; Damas-Carrera, S.; Pérez-hernández, A.; Scrivener, K. L.; Martirena-Hernández, J. F. Industrial trial to produce a low clinker, low carbon cement. *Materiales de Construcción*, 65,. 317, p. e045, 2015.
- [2] Andrew, R. M. Global CO 2 emissions from cement production , 1928 – 2018, 1675–1710, 2019.
- [3] Andrade, D. D. S. Microestrutura De Pastas De Cimento Portland Com Nanossílica Coloidal e Adições Minerais Altamente Reativas. Tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e construção Civil Daniel. Universidade de Brasília 2006.
- [4] Silvestre, J.; Silvestre, N.; Brito, J. DE. Review on concrete nanotechnology. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, v. 20, n. 4, p. 455–485, 2016.
- [5] Varghese, L.; Kanta Rao, V. V. L.; Parameswaran, L. Comparison of efficiency of colloidal nanosilica and microsilica in cement concrete. *Indian Concrete Journal*, v. 91, n. 9, p. 37–46, 2017.
- [6] Yildirim, G.; Dündar, B.; Alam, B.; Yaman, I. O.; Şahmaran, M. Role of nanosilica on the early-age performance of natural pozzolan-based blended cement. *ACI Materials Journal*, v. 115, n. 6, p. 969–980, 2018.
- [7] Roychand, R.; Silva, S. DE; Setunge, S. Nanosilica modified high-volume fly ash and slag cement composite: Environmentally friendly alternative to OPC. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 30, n. 4, 2018.
- [8] Scrivener, K.; Martirena, F.; Bishnoi, S.; Maity, S. Calcined clay limestone cements (LC3). *Cement and Concrete Research*, v. 114, n. March 2017, p. 49–56, 2018
- [9] Marsilio, M.; Cappellaro, G.; Cuccurullo, C. The intellectual structure of research into PPPs: A bibliometric analysis. *Public Management Review* V. 13, 763–782, 2011.
- [10] Chadegani, A.A.C; Salehi, H.; Yunus, M.M.; Farhadi, H.; Fooladi, M.; Farhadi, M.; Ebrahim, N.A. A Comparison between Two Main Academic Literature Collections: Web of Science and Scopus Databases. *Asian social science*; vol. 9, No. 5; 2013
- [11] Falcao, T.D.F. Santos, R.S. Sousa, L.C. Carvalho, M.T.M. Mapeamento sistematizado da literatura visando a aplicação sinérgica das ferramentas Lean e BIM. XVII Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 2018.
- [12] Van Eck, N. J., Waltman, L. Visualizing bibliometric networks. *Measuring scholarly impact: methods and practice*. pp. 285– 320, 2014.

## Capítulo 2



10.37423/220105212

# DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA VIRTUAL DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

*André Luiz Amarante Mesquita*

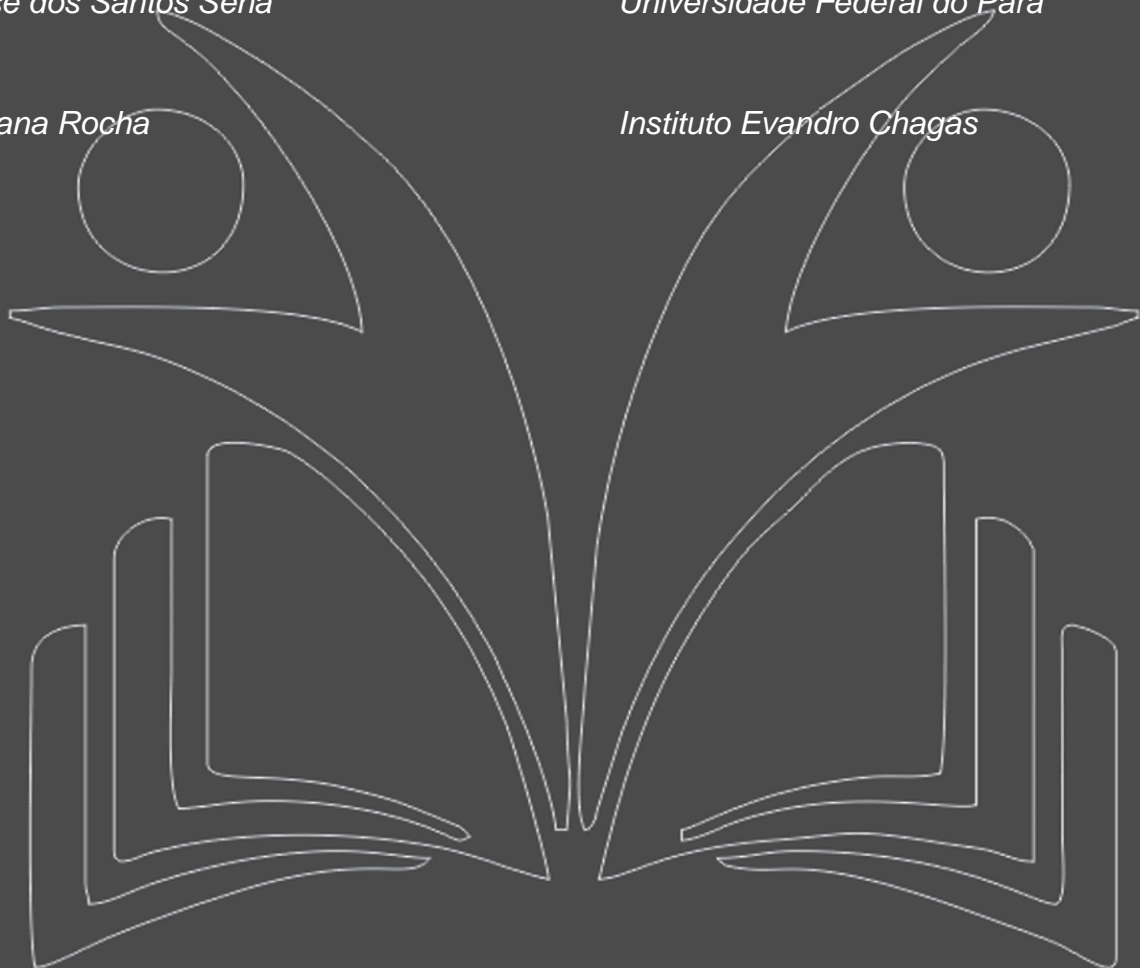
*Universidade Federal do Pará*

*Manoel José dos Santos Sena*

*Universidade Federal do Pará*

*Paulo Santana Rocha*

*Instituto Evandro Chagas*



**Resumo:** Este trabalho ilustra o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para o projeto de sistemas de bombeamento. Esta bancada permite o cálculo da perda de carga de sistemas de bombeamento e a definição do ponto de funcionamento da bomba. O estudante pode entrar com as características que definem o sistema e a bomba. O aplicativo calcula então, através de um processo iterativo de solução não linear as condições de operação. Como saída de informações, tem-se as características do escoamento em todos os componentes do sistema. O número de combinações possíveis faz com que o estudante adquira um conhecimento mais profundo de um assunto tradicionalmente visto como complexo. Desta maneira, através de várias análises de cenário, ele pode relacionar o que é estudado na teoria com o que se verifica na prática no funcionamento do sistema. A plataforma de desenvolvimento escolhida privilegiou a disponibilidade do aplicativo via web.

## 1 INTRODUÇÃO

A aplicação de bombas hidráulicas para elevar fluidos entre diferentes cotas é um dos processos mais comuns na indústria. Por isso, todos os estudantes de Engenharia Mecânica, Ambiental, de Produção, Química ou correlatas, passam por um processo de treinamento sobre o projeto e análise deste tipo de sistema. Isto acontece nas disciplinas de Mecânica dos Fluidos ou Hidráulica Aplicada. Para o projeto de instalações de bombeamento devem ser consideradas as características do sistema no qual a bomba será instalada (BRUNETTI, 2008), em especial as perdas de carga que ocorrerão nos elementos por onde escoar o fluido. Além disso, as características da bomba também devem ser conhecidas (BISTAFA, 2010). Dependendo do fluido que se precisa bombear e das condições de instalação, diversos tipos de bomba estão disponíveis.

Uma das características singulares deste tipo de instalação é que as análises da bomba e do sistema na qual ela será inserida não podem ser feitas de forma independente. Ao ser instalada uma bomba em um determinado sistema, o acoplamento entre os dois deve ser calculado, o que é feito através de métodos iterativos (PRESS, 2007). Isto acontece porque a bomba fornecerá uma determinada vazão ao sistema, mas, por outro lado, a perda de carga do sistema depende da vazão. Este comportamento do conjunto é difícil de explicar aos estudantes se não houver uma forma simples de simular computacionalmente o mesmo, visto que os cálculos iterativos são custosos e demorados para serem realizados manualmente em sala de aula.

Este trabalho ilustra o desenvolvimento de uma bancada didática virtual de análise e projeto de sistemas de bombeamento que permite ao estudante, de maneira simples, rápida e intuitiva, especificar as características do sistema e da bomba, e simular diversas condições de funcionamento.

## 2 METODOLOGIA

O problema do acoplamento entre a bomba e o sistema equivale a um problema de programação não linear, com as condições de igualdade das equações (1) e (2) que devem ser impostas.

$$H_{\text{bomba}} = H_{\text{sistema}} \quad (1)$$

$$Q_s = Q_r = Q_t = Q \quad (2)$$

Onde,

$H_{\text{bomba}}$  – altura manométrica da bomba

$H_{\text{sistema}}$  – altura manométrica do sistema

$Q_s$  – vazão na tubulação de sucção

$Q_r$  – vazão na tubulação de recalque

$Q_t$  – vazão na tubulação para o tanque

A altura manométrica da bomba e a altura manométrica do sistema são calculadas com base nas equações (2) e (3), respectivamente.

$$H_{\text{bomba}} = aQ^2 + bQ + c \quad (3)$$

$$H_{\text{sistema}} = H_0 + H_s + H_r + H_t \quad (4)$$

Onde,

a, b e c são coeficientes obtidos através de regressão quadrática a partir da curva da bomba.

$H_0$ ,  $H_s$ ,  $H_r$  e  $H_t$  são, respectivamente, o desnível geométrico e as perdas de carga nas tubulações de sucção, recalque e tanque.

Por sua vez, os valores de  $H_s$ ,  $H_r$  e  $H_t$  são calculados pelas equações (5), (6) e (7).

$$H_s = \frac{8cm_{pc}}{\pi^2 g (10^{-3})^5 3600^2} \left( \frac{f_s l_s Q_s^2}{D_s^5} \right) \quad (5)$$

$$H_r = \frac{8cm_{pc}}{\pi^2 g (10^{-3})^5 3600^2} \left( \frac{f_r l_r Q_r^2}{D_r^5} \right) \quad (6)$$

$$H_t = \frac{8cm_{pc}}{\pi^2 g (10^{-3})^5 3600^2} \left( \frac{f_t l_t Q_t^2}{D_t^5} \right) \quad (7)$$

Onde,

$cm_{pc}$  – coeficiente de majoração das perdas distribuídas

$g$  – aceleração da gravidade

$f_s$ ,  $f_r$  e  $f_t$  – coeficientes de atrito da tubulação de sucção, recalque e tanque, respectivamente

$Q_s$ ,  $Q_r$  e  $Q_t$  – vazões da tubulação de sucção, recalque e tanque, respectivamente.

Os coeficientes de atrito são calculados através das equações (8), (9) e (10), que são as formas explícitas das equações de Colebrooke-White.

$$f_s = \left( \frac{1}{-2 \log_{10} \left( \frac{\varepsilon}{3,7D_s} - \frac{5,16}{Re_s} \log_{10} \left( \frac{\varepsilon}{3,7D_s} + \frac{5,09}{Re_s^{0,87}} \right) \right)} \right)^2 \quad (8)$$

$$f_r = \left( \frac{1}{-2 \log_{10} \left( \frac{\varepsilon}{3,7D_r} - \frac{5,16}{Re_r} \log_{10} \left( \frac{\varepsilon}{3,7D_r} + \frac{5,09}{Re_r^{0,87}} \right) \right)} \right)^2 \quad (9)$$

$$f_t = \left( \frac{1}{-2 \log_{10} \left( \frac{\varepsilon}{3,7D_t} - \frac{5,16}{Re_t} \log_{10} \left( \frac{\varepsilon}{3,7D_t} + \frac{5,09}{Re_t^{0,87}} \right) \right)} \right)^2 \quad (10)$$

Onde,

$D_s$ ,  $D_r$  e  $D_t$  são, respectivamente, os diâmetros das tubulações de sucção, recalque e tanque.

$Re_s$ ,  $Re_r$  e  $Re_t$  são, respectivamente, os Números de Reynolds das tubulações de sucção, recalque e tanque.

O processo de solução iterativo envolve o cálculo dos coeficientes de atrito e posterior verificação das restrições de igualdade impostas pelas equações (1) e (2). LIMA et al, 2012) usou a linguagem de programação Actionscript e o ambiente de desenvolvimento Adobe CS5 (ROSENZWEIG, 2008 e SHUPE, 2008). Esta escolha foi justificada na época pela aceleração no desenvolvimento dos projetos permitida pela integração imediata entre a parte gráfica e a parte de processamento da aplicação, além da disponibilidade do sistema via web. Uma segunda versão da bancada foi desenvolvida no ambiente de programação Unity, com a linguagem de programação C#.

### 3 RESULTADOS

A aplicação é composta de diferentes interfaces separadas em diferentes abas. A figura 1 mostra a interface de abertura da bancada.

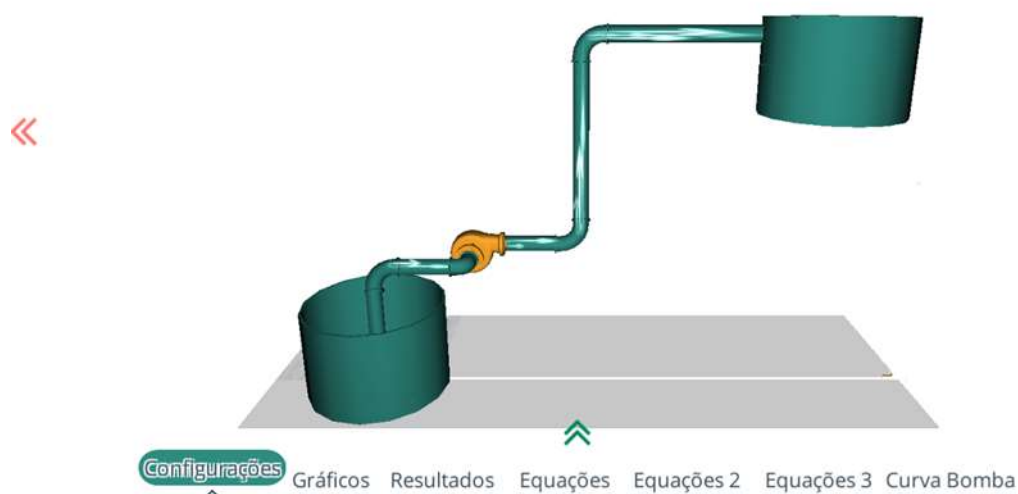


Figura 1 – Interface de abertura

A interface permite o acesso, no menu da parte inferior, às seguintes abas:

- Configurações - Permite o acesso à entrada de dados, conforme mostrado na figura 2. Os dados de entrada são os diâmetros e comprimentos das tubulações de sucção, de recalque e do tanque, a rugosidade do material da tubulação, o desnível geométrico, além das propriedades do fluido, que são a viscosidade e a massa específica. Um coeficiente de majoração das perdas também é permitido.

Recalque		Fluido	
$dt$ (pol)	$dr$ (pol)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	
6	8	1000	
$lt$ (m)	$lr$ (m)	$\mu$ (m <sup>2</sup> /s)	
81,1	206,9	1,004	
		$c.m.$	
		1,1	

Sucção		Sistema	
$ls$ (m)	Rugosidade (mm)	$ds$ (pol)	Desnível $H_0$ (m)
155,4	0,28	10	66,1

Teclado Virtual

Figura 2 –Interface de entrada de dados

- Gráficos - nesta aba, são apresentados a vazão da bomba no ponto de operação, a altura manométrica no ponto de operação, o rendimento no ponto de operação, a altura



manométrica do sistema no ponto de operação, a potência consumida pela bomba no ponto de operação, a perda de carga e um parâmetro de erro para avaliação da eficiência do processo de solução. Além disso, são apresentados dois gráficos (figura 3). O primeiro gráfico mostra o ponto de operação e as curvas da bomba e do sistema. O segundo gráfico mostra a variação do rendimento com a vazão.

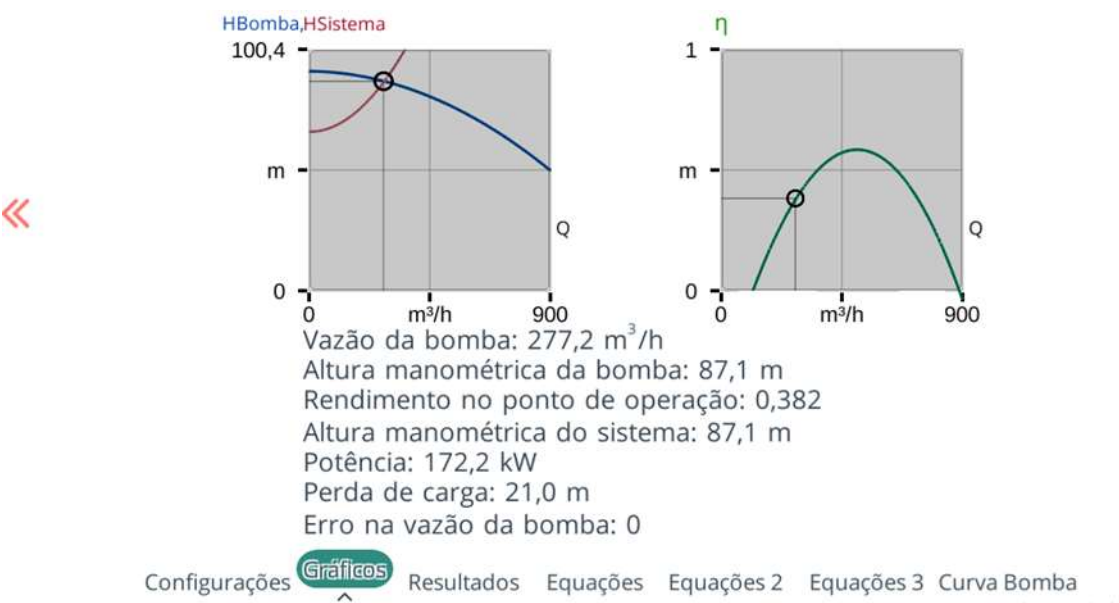



Figura 3 - Interface de saída de informações e gráficos

- Resultados - nesta aba, mostrada na figura 4, são apresentados: a vazão nas tubulações de sucção, recalque e tanque; a velocidade nas tubulações de sucção, recalque e tanque; o número de Reynolds nas tubulações de sucção, recalque e tanque; e a perda de carga nas tubulações de sucção, recalque e tanque.

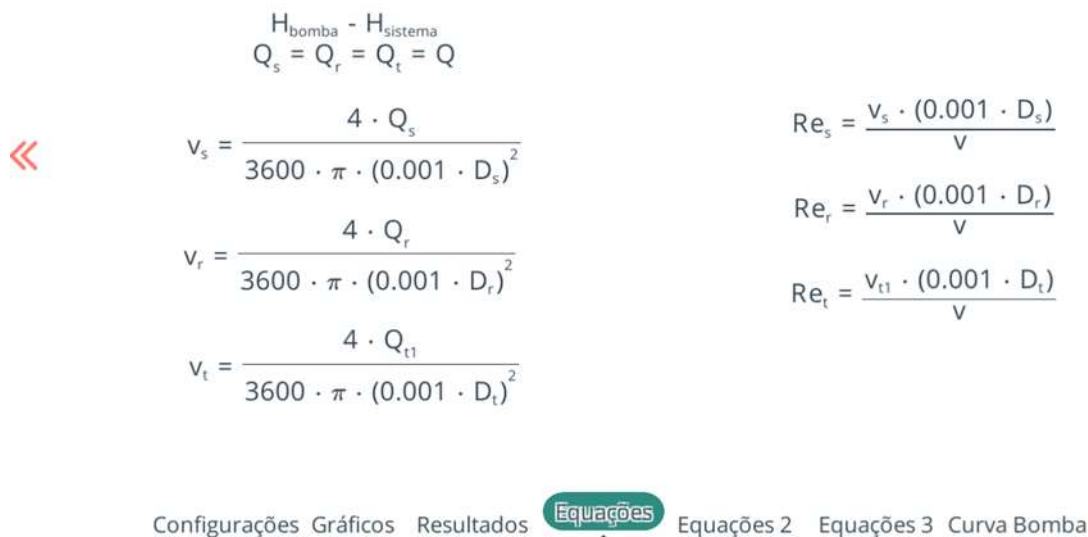


Vazão	Qs = 277,2 m <sup>3</sup> /h Qr = 277,2 m <sup>3</sup> /h Qt = 277,2 m <sup>3</sup> /h
Velocidade	Vs = 1,52 m/s Vr = 2,37 m/s Vt = 4,22 m/s
Nº de Reynolds	Rs = 384503 Rr = 480628 Rt = 640838
Perda de Carga	Hs = 1,65 m Hr = 7,01 m Ht = 12,34 m

Configurações Gráficos Resultados Equações Equações 2 Equações 3 Curva Bomba

Figura 4 - Interface de saída de informações

- Equações 1 - nesta aba, mostrada na figura 5, são mostradas as equações de conservação de massa, da velocidade e do número de Reynolds usadas na modelagem.



«

$$H_{\text{bomba}} - H_{\text{sistema}}$$

$$Q_s = Q_r = Q_t = Q$$

$$v_s = \frac{4 \cdot Q_s}{3600 \cdot \pi \cdot (0.001 \cdot D_s)^2}$$

$$v_r = \frac{4 \cdot Q_r}{3600 \cdot \pi \cdot (0.001 \cdot D_r)^2}$$

$$v_t = \frac{4 \cdot Q_{t1}}{3600 \cdot \pi \cdot (0.001 \cdot D_t)^2}$$

$$Re_s = \frac{v_s \cdot (0.001 \cdot D_s)}{\nu}$$

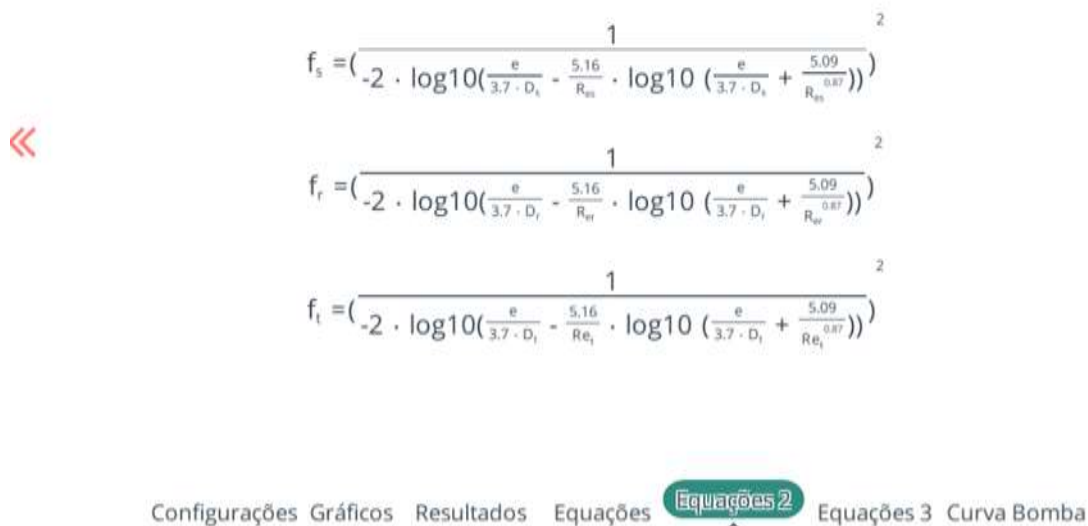
$$Re_r = \frac{v_r \cdot (0.001 \cdot D_r)}{\nu}$$

$$Re_t = \frac{v_{t1} \cdot (0.001 \cdot D_t)}{\nu}$$

Configurações Gráficos Resultados **Equações** Equações 2 Equações 3 Curva Bomba

Figura 5 - Interface de informações sobre equações de velocidade e Reynolds

- Equações 2 - nesta aba, mostrada na figura 6, são mostradas as equações de coeficientes de atrito nas tubulações de sucção, recalque e tanque.



«

$$f_s = \frac{1}{-2 \cdot \log_{10} \left( \frac{e}{3.7 \cdot D_s} - \frac{5.16}{Re_s} \cdot \log_{10} \left( \frac{e}{3.7 \cdot D_s} + \frac{5.09}{Re_s^{0.87}} \right) \right)}$$

$$f_r = \frac{1}{-2 \cdot \log_{10} \left( \frac{e}{3.7 \cdot D_r} - \frac{5.16}{Re_r} \cdot \log_{10} \left( \frac{e}{3.7 \cdot D_r} + \frac{5.09}{Re_r^{0.87}} \right) \right)}$$

$$f_t = \frac{1}{-2 \cdot \log_{10} \left( \frac{e}{3.7 \cdot D_t} - \frac{5.16}{Re_t} \cdot \log_{10} \left( \frac{e}{3.7 \cdot D_t} + \frac{5.09}{Re_t^{0.87}} \right) \right)}$$

Configurações Gráficos Resultados Equações **Equações 2** Equações 3 Curva Bomba

Figura 6 - Interface de informações sobre equações de coeficientes de atrito

- Equações 3 - nesta aba, mostrada na figura 7, são mostradas as equações de perda de carga nas tubulações de sucção, recalque e tanque.

«

$$H_s = \frac{8 \cdot \text{cmpe}}{\pi^2 \cdot g \cdot (10^{-3})^5 \cdot 3600^2} \left( \frac{f_s \cdot l_s \cdot Q_s^2}{D_s^5} \right)$$

$$H_r = \frac{8 \cdot \text{cmpe}}{\pi^2 \cdot g \cdot (10^{-3})^5 \cdot 3600^2} \left( \frac{f_r \cdot l_r \cdot Q_r^2}{D_r^5} \right)$$

$$H_t = \frac{8 \cdot \text{cmpe}}{\pi^2 \cdot g \cdot (10^{-3})^5 \cdot 3600^2} \left( \frac{f_t \cdot l_t \cdot Q_t^2}{D_t^5} \right)$$

Configurações Gráficos Resultados Equações Equações 2 **Equações 3** Curva Bomba

Figura 7 - Interface de informações sobre equações de perda de carga

- Curva bomba - nesta aba, mostrada na figura 8, é disponibilizada uma interface de entrada de dados para a especificação da bomba a ser usada. Esta especificação a partir da digitalização das curvas de altura manométrica da bomba e de rendimento com a vazão.

«

Vazão [m³/h]	Hbomba [m]	Rendimento
0	91,28	-0,4
100	90,68	-0,05
200	89,06	0,2
300	86,01	0,42
400	82,75	0,55
500	78,07	0,6
600	72,37	0,55
700	65,64	0,42
800	57,90	0,2
900	49,14	-0,05

»

Figura 8 - Interface de entrada de dados da bomba

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação desenvolvida permite aos estudantes de Engenharia verificar de forma bastante simples e rápida o fenômeno de acoplamento da bomba com o sistema no qual a mesma está instalada.

Grande compreensão dos fenômenos associados com o problema de perda de carga é adquirida com o uso da ferramenta. Podem ser feitas análises de sensibilidade a uma quantidade muito grande de parâmetros. Dentre eles, podem ser citados, os comprimentos das tubulações, os diâmetros das tubulações, as rugosidades das tubulações, a viscosidade e a densidade do fluido bombeado. Isto torna bastante rica a aplicação, do ponto de vista da compreensão física da influência de cada fator no funcionamento do conjunto.

A interface gráfica com o usuário foi projetada para proporcionar o máximo possível de facilidade de uso, de tal maneira que o estudante possa se concentrar no fenômeno modelado, e não nos detalhes de uso da ferramenta.

Como desenvolvimento a ser implementado, há a possibilidade de instalação de novos elementos nas tubulações, tais como filtros e válvulas, bem como o aumento da complexidade da tubulação, por exemplo, com a adição de mais um ramo de tubulação após a bomba.

Uma evolução desta bancada está sendo desenvolvida para análise do desempenho de bombas com velocidade variável, através do uso de inversores de frequência (MESQUITA et al, 2006, CARVALHO, 2000). Com esta característica, o sistema terá sua utilidade para os estudantes ainda mais acentuada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BISTAFA, S. R., Mecânica dos Fluidos. Rio de Janeiro: Edgard Blucher, 2010.

BRUNETTI, F., Mecânica dos Fluidos. São Paulo: Prentice-Hall, 2008.

CARVALHO, J. A., et al. Utilização de inversores de frequência em sistemas de irrigação para controle de vazão. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol 4, n. 1, 2000.

LIMA, A. et al. Desenvolvimento de uma bancada virtual para sistemas de bombeamento. Belém: XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2012.

MESQUITA, A. L. A., SILVA, L. J. S., PEREIRA, J. A. R., ABRAHIM JR., O. A., Utilização de bombas centrífugas em velocidade variável para a redução do consumo de energia. Anais do VI Serea – Seminário Iberoamericano sobre sistemas de abastecimento de água. João Pessoa: 2006.

PRESS, W. H. et al, Numerical Recipes: the art of scientific computing. Cambridge University Press, 2007.

ROSENZWEIG, G.. Actionscript 3.0 Game Programming University. Que, 2008.

SHUPE, R., Learning Actionscript 3.0. O'Reilly, 2008.

## Capítulo 3



10.37423/220105230

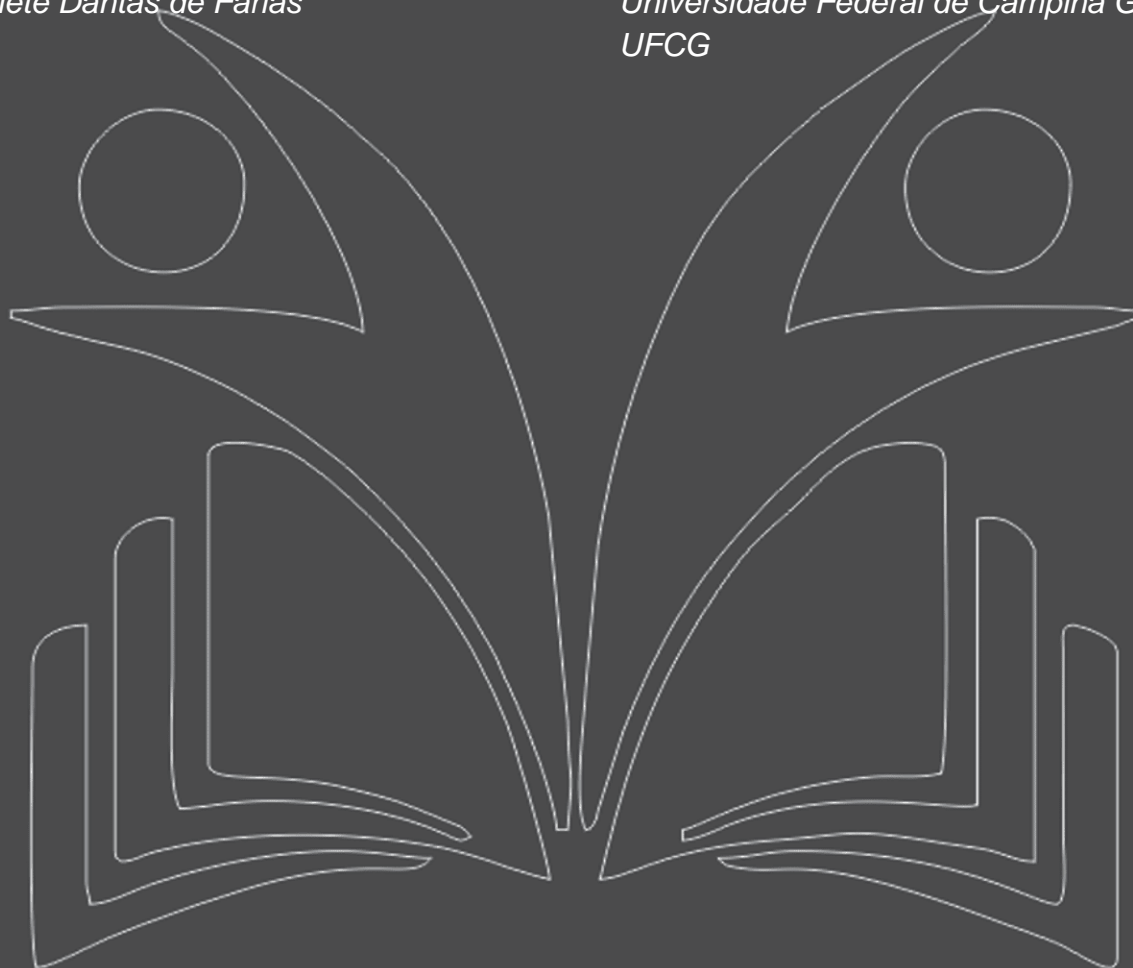
# CONTRIBUIÇÕES DA GESTÃO DA MANUTENÇÃO PARA A MELHORIA DOS SERVIÇOS DE UM LABORATÓRIO PÚBLICO DE ANÁLISES CLÍNICAS DO RECIFE/PE

*Adeiza Sandra Dantas de Farias*

*Faculdade Boa Viagem - FBV*

*Adriana Salete Dantas de Farias*

*Universidade Federal de Campina Grande -  
UFCG*



**Resumo:** A gestão das atividades de manutenção de equipamentos, instalações, veículos, entre outros recursos operacionais se torna importante para assegurar a máxima utilização da capacidade de um sistema de operações. Quando esse sistema realiza um serviço que auxilia um tratamento de saúde, como é o caso das análises clínicas, a importância de sua continuidade e precisão é ainda maior. Tomando como referência os serviços de análises clínicas realizados por um laboratório público da cidade do Recife, verifica-se a utilização de equipamentos de alta tecnologia, que exigem monitoramento constante e manutenções regulares para que possam funcionar de forma eficiente e garantir o atendimento da demanda do laboratório. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar o impacto das ações de manutenção em um laboratório público do Recife para o desempenho de seu sistema de análises bioquímicas e de hormônios. Para viabilizar essa avaliação, foram identificadas e contabilizadas as falhas ocorridas nos anos de 2012 e 2013. As principais falhas do sistema são decorrentes de erros operacionais. O tratamento quantitativo dos dados permitiu calcular eficiência e utilização da capacidade do sistema de análises clínicas e os indicadores mtbf e mttr.

**Palavras-chaves:** gestão da manutenção; indicadores de gestão de manutenção; laboratórios de análises clínicas.

**Área: 1** - gestão da produção.

**Sub-área: 1.5** - gestão da manutenção.

## 1. INTRODUÇÃO

As questões de competitividade de mercado, assim como ganhos financeiros são indispensáveis para qualquer negócio e devem ser esperados como consequências das ações voltadas para a melhoria dos serviços prestados. Por isso, grande parte das empresas busca elevar sua competitividade através do eficiente gerenciamento de seus recursos produtivos, buscando elevar níveis de produtividade, de máquinas, equipamentos, instalações, mão-de-obra, entre outros.

Para Kardec e Nascif (2009), a competitividade de uma organização depende de vários subsistemas que se interligam através de relações extremamente fortes e interdependentes. Dentre esses subsistemas está a de gestão da manutenção, que tem papel importante no alcance da máxima capacidade efetiva. As atividades de manutenção permeiam e interagem com vários subsistemas, a exemplo da engenharia, suprimento, inspeção de equipamentos etc.

Uma política de gerenciamento de manutenção tem sido inserida com o objetivo de melhoria de qualidade de produtos e serviços e consequentemente a satisfação plena dos clientes. Em virtude disso, a atividade da manutenção tem se integrado de forma estratégica ao processo produtivo como uma área proativa.

Tomando como referência as atividades voltadas para o desenvolvimento dos serviços médico-hospitalares, a gestão da manutenção se torna ainda mais importante em razão de sua ineficiência implicar em sérias consequências para a saúde de um indivíduo e até problemas coletivos relacionados à saúde pública.

Uma das demandas das atividades médico-hospitalares é pela realização de exames clínicos, necessários para fechamento de diagnósticos e/ou para prescrição de medicamentos. Os equipamentos utilizados nos laboratórios de análises clínicas têm incorporados inovações para atender aos avanços de pesquisa biomédica. Assim, nas últimas décadas a demanda por pessoal técnico especialista na realização de manutenções em equipamentos de tecnologia mais sofisticada têm também crescido.

Um exemplo disso é a presença de equipamentos com sistemas completamente automatizados, de acesso aleatório e controlados por software, para análises por imunoensaio e fotométricos, de um laboratório público do Recife/PE. Esse laboratório realiza exames de análises clínicas para diagnósticos de doenças e notificação compulsória, a exemplo de hanseníase e hepatites virais.



Paradas nos equipamentos do sistema de análises bioquímicas e de hormônios implicam em atrasos nos resultados dos pacientes, que dependem desses exames para receberem os diagnósticos de doenças e iniciarem os respectivos tratamentos. Se não forem confiáveis ou feitos em pouco tempo, podem colocar o paciente em risco de morte. Além disso, a ineficiência na realização de algum procedimento, ou as perdas por falha/paradas dos equipamentos exigirão nova coleta de sangue e retrabalho nos equipamentos do laboratório, os quais também refletem nos custos desses serviços e podem impactar na imagem da instituição, além dos custos com a terceirização dos exames em outros laboratórios privados, no caso de períodos longos de parada. E no transporte das amostras para outros laboratórios também há possibilidade de perdas e de trocas. Nessa atividade, o serviço prestado é o fornecimento de resultados das análises laboratoriais processadas, e basicamente duas características nesse serviço são avaliadas pelos clientes: a confiabilidade dos resultados e tempo de liberação dos laudos.

A partir dessas considerações, tem-se como objetivo dessa pesquisa **avaliar o impacto das ações de melhoria implementadas pela gestão da manutenção no desempenho do sistema de análises bioquímicas e de hormônios do laboratório público do Recife/ PE**. Para suportar o desenvolvimento dessa pesquisa, apresenta-se, no tópico seguinte, o referencial teórico revisado.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Fatores como problemas de qualidade, absenteísmo, atrasos no suprimento de materiais e quebras de máquinas, que poderiam ser evitados reduzem o volume de saídas úteis do sistema e assim, reduzem sua produtividade. Slack et al. (2008) observa que esse tipo de ocorrência, denominada 'perda não planejadas' corresponde a interrupções inesperadas do sistema produtivos ou, a desperdícios de uso dos recursos produtivos ou de uma operação, que diminuem a capacidade efetiva do sistema e leva a utilização de um nível de capacidade real inferior ao que poderia ser atingido.

Alguns desses fatores estão relacionados a falhas no gerenciamento de manutenção, a exemplo das quebras de máquinas que, além de reduzirem a capacidade, elevam os custos de produção pela variação no tempo de manutenção, e na qualidade dos produtos e serviços porque podem afetar o desempenho dos equipamentos.

Manutenção é o termo usado para abordar a forma pela qual as organizações tentam evitar falhas ao cuidar de suas instalações físicas, máquinas e equipamentos. É uma parte das atividades de produção, especialmente naqueles sistemas produtivos cujas instalações físicas têm papel importante na

produção de bens e serviços. A identificação de oportunidades de redução de custos e melhoria da qualidade de produtos/serviços mostra a necessidade de maior atenção para as atividades de gestão da manutenção (SLACK et al., 2008).

Segundo Kardec e Nacif (2009), o objetivo da gestão da manutenção é garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo adequados. A manutenção para ser estratégica precisa estar voltada para os resultados da organização. Deve deixar de ser apenas eficiente e se tornar também eficaz, não se limitando apenas a reparar o equipamento, mas mantê-lo disponível pelo maior tempo possível para a operação, reduzindo a probabilidade de uma parada de produção não planejada, o que impactaria nas operações produtivas e também nos custos.

## 2.1 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Devido a grande variedade, é importante uma caracterização, mais objetiva dos diversos tipos de manutenção, desde que, todas se encaixem em um dos tipos descritos abaixo, descritos por (KARDEC e NASCIF, 2009) e apresentados a seguir:

☐ Manutenção corretiva não planejada: É a correção de uma falha de maneira aleatória, que pode ter consequência grave para o equipamento, a extensão de danos pode ser maior, além de implicar em altos custos, pois a quebra inesperada pode provocar perdas de produção e perda de qualidade do produto.

- Manutenção Corretiva Planejada: É a correção do desempenho antes da falha, pela atuação em função de um controle ou acompanhamento preditivo de operar até a quebra, a qualidade da informação fornecida é de suma importância para a atuação da manutenção.
- Manutenção Preventiva: É a intervenção realizada de forma planejada em intervalos definidos de tempo, com o objetivo de evitar a falha, segundo um plano previamente elaborado.
- Manutenção Preditiva: É a manutenção feita em função da condição do equipamento, com base na modificação de um parâmetro de desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível.
- Manutenção Detectiva: É a atuação efetuada nos sistemas de proteção buscando detectar falhas ocultas ao pessoal da operação e manutenção. A identificação de falhas ocultas garante a confiabilidade.
- Engenharia de Manutenção: Praticar a Engenharia da Manutenção significa uma mudança cultural. É deixar de conviver com problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, desenvolvendo a manutenibilidade e interferindo tecnicamente nas compras e dando feedback aos Projeto.

Como pode ser observado, há várias possibilidades de se utilizar das técnicas desenvolvidas. As empresas deverão optar por um determinado tipo ou pela combinação deles, a depender das suas características como estruturas, processos, além da disponibilidade de recursos humanos e financeiros. Contudo, observa-se que a manutenção corretiva possui poucas vantagens embora seja um tipo de manutenção necessária em alguns casos, como no fim de vida útil de um equipamento ou por problemas de habilidade dos usuários, mas esse tipo de manutenção deve ser diminuído porque sua ocorrência frequente, em geral, indica uma gestão de manutenção ineficiente.

Cada etapa do trabalho de manutenção precisa ser verificada do início ao fim e também por meio de testes. Quando surgem problemas, a qualidade do reparo não é satisfatória. A implementação de um sistema de avaliação da qualidade da manutenção possibilita a redução de custos, principalmente devido a eliminação de retrabalho, a melhoria do desempenho dos usuários e dos equipamentos e da qualidade do serviço prestado, garantindo que normas e procedimentos sejam cumpridos para que os equipamentos possam apresentar maior confiabilidade quando estiverem em operação (TAKAHASHI e OSADA, 1993).

O uso de indicadores de *performance* tem sido uma valiosa ferramenta para gerentes avaliarem o desempenho de suas áreas e no planejamento estratégico a fim de se alcançar metas. Viana (2013) apresenta indicadores na manutenção chamados “Índices de Classe Mundial”. Dentre os indicadores da qualidade de gestão da manutenção apresentados são considerados principais os seguintes:

- MTBF – *Mean time Between Failures* ou Tempo médio entre falhas. O MTBF é obtido pela divisão da soma das horas disponíveis do equipamento para a operação, pelo número de intervenções corretivas neste equipamento no período. Este índice serve para observar o comportamento da maquinaria, diante das ações mantenedoras. Se o valor do MTBF for aumentado com o passar do tempo, será um sinal positivo para a manutenção, pois indica que o número de intervenções corretivas vem diminuindo, e conseqüentemente o total de horas disponíveis para a operação, aumentando.
- MTTR – *Mean Time To Repair*, ou Tempo médio de Reparo. O tempo médio de reparo é dado como sendo a relação entre a soma das horas de indisponibilidade para a operação devido à manutenção pelo número de intervenções corretivas no período.

### 3. METODOLOGIA DA PESQUISA

A delimitação metodológica de uma pesquisa auxilia sua execução. Nesse sentido, Vergara (2010) propõe dois critérios básicos para classificar os tipos de pesquisa, que são quanto aos fins e quanto aos meios. Conforme esse entendimento, quanto aos fins, a presente pesquisa é de caráter descritiva, tendo em vista seu objetivo geral “avaliar o impacto das ações implementadas pela manutenção no

desempenho do sistema de análises bioquímicas e de hormônios do laboratório público do Recife/PE”.

Em relação aos meios utilizados, essa pesquisa também se classifica como estudo de caso, considerando que o estudo será desenvolvido em um laboratório público do Recife/PE. Yin (2005) considera o estudo de caso como o tipo de pesquisa mais adequado para a investigação de um fenômeno dentro de seu contexto real, onde os limites entre o fenômeno e o contexto não são claramente percebidos.

Quanto aos meios, a pesquisa também se classifica como pesquisa participante, tendo em vista que a escolha e o acesso ao laboratório referenciado e a própria motivação para o desenvolvimento dessa pesquisa aconteceram em função da autora atuar como membro da equipe de manutenção dos equipamentos do sistema de análises bioquímicas e de hormônios do referido laboratório. Le Boterf (apud Gil, 2002), considera a pesquisa participante como uma modalidade de pesquisa que tem como propósito auxiliar a população envolvida a identificar por si mesma os seus problemas, a realizar a análise crítica destes e a buscar as soluções adequadas.

Em relação aos aspectos operacionais, a pesquisa foi realizada em etapas, de modo a cumprirem o alcance dos objetivos específicos. Assim, a primeira etapa iniciou-se com a revisão bibliográfica em torno da gestão da manutenção; e, da identificação das operações realizadas em laboratórios de análises clínicas.

Com base na revisão feita, foi possível elaborar um roteiro de pesquisa e de observação para levantamento de dados. Os dados primários se referem às informações obtidas junto ao responsável pelo laboratório para caracterização dos processos realizados, como também para identificação das máquinas e equipamentos utilizados na realização dos serviços do laboratório.

Os dados secundários correspondem aos relatórios de registros de manutenção dos equipamentos do laboratório no período de Janeiro de 2012 a Novembro de 2013. Foram utilizados os registros de manutenções ocorridas nesse período gerados pelo sistema de TI do fornecedor dos equipamentos que também é responsável pela manutenção desses. Em 2012 foram implementadas várias ações de manutenção, pela equipe de manutenção da empresa fornecedora de equipamentos, visando eliminar ou minimizar as causas de falhas nesse sistema. A realização da coleta de dados primários e secundários foi realizada entre os meses de Setembro a Novembro de 2013. O tratamento dos dados se deu de forma qualitativa e quantitativa.

Em termos quantitativos, foram contabilizadas as horas gastas com manutenções e verificado a frequência para ordenação das falhas ocorridas. Foram calculados também os níveis de eficiência e de utilização do sistema de análises bioquímicas e de hormônios, com base nas contribuições de Slack et al (2008), para os anos de 2012 e 2013. Além desses indicadores, foram calculados valores dos parâmetros MTBF e MTTR, conforme definição de Viana (2013), para os mesmos anos.

Relacionando os resultados quantitativos e qualitativos foi possível verificar as melhorias no desempenho do sistema estudado alcançadas através das ações de manutenção.

#### 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O principal sistema de análises clínicas do laboratório estudado é dedicado à realização de análises bioquímicas e de hormônios. Essas análises são processadas por um sistema modular que reúne equipamentos de alta tecnologia, com processamento automático de amostras de sangue. As atividades de separação dos tubos de amostras, etiquetagem, centrifugação, retirada de tampas dos tubos e distribuição nos equipamentos analíticos são realizadas de forma automatizada. Os operadores apenas recebem as amostras no setor e as colocam nas *racks* (uma espécie de suporte que é introduzido nos equipamentos de análises, capaz de acondicionar até cinco amostras de sangue) para o sistema processar as análises e esperam o resultado dos exames.

De acordo com os relatórios dos serviços de manutenção disponibilizados pelo fornecedor, no período de Janeiro de 2012 a Novembro de 2013, foi possível verificar as demandas e ordená-las com base na quantidade de chamadas/ano. A Tabela 1 apresenta em ordem de importância, os tipos de falhas ocorridas em 2012.

Tabela 1 – Ocorrências de falhas no ano de 2012

Ano de 2012			
Tipo de falha	QTE chamados	%	% Acumulado
Erros Operacionais	17	39%	39%
Falta de água	7	16%	55%
Falta de Conectividade	5	11%	66%
Problema Mecânico	4	9%	75%
Falha nos Sensores	3	7%	82%
Eletrônica/Placas	3	7%	89%
Entupimento de Agulhas	2	5%	93%
Falta de Energia	2	5%	98%

Problema de Pressão/Vácuo	1	2%	100%
TOTAL	44	100%	

Fonte: Elaboração própria.

Os principais tipos de falhas ocorridas foram os erros operacionais (39%), a falta de água (16%) e falta de conectividade (11%). Os erros operacionais são resultantes de capacidade e/ou de habilidade dos operadores e, acontecem frequentemente durante a troca de agulhas e lâmpadas dos equipamentos. Os erros operacionais podem ou não levar a uma parada total do sistema. As demais falhas provocaram paradas apenas nos módulos onde se originam.

A falta de água, apesar de ocorrer com menor frequência em relação aos erros operacionais, tem consequências mais significativas para a operacionalização do sistema de análises clínicas porque implica sempre na parada total tendo em vista que o sistema utiliza um grande volume de água durante sua operação. A causa principal da parada do sistema por falta de água foi a interrupção do fornecimento de água pela companhia responsável. A falta de conectividade se refere aos problemas de comunicação dos softwares entre os equipamentos do sistema e o sistema do laboratório, o que gera erros de interfaceamento. A causa dos problemas de conectividade advém problemas nos cabamentos da rede. Esse tipo de falha também pode causar a parada total.

Problemas nos sensores são verificados eventualmente. Em geral ocorrem em função da vida útil de seus componentes e também por sujeira acumulada nos equipamentos. Esse tipo de falha, em geral, não leva à parada total do sistema, mas pode impedir o funcionamento do módulo onde estar instalado. Se para o reestabelecimento do módulo for exigida a substituição do sensor, o tempo de parada do módulo pode ser aumentado.

Os problemas eletrônicos também acontecem eventualmente. São causados por mau contato elétrico nos conectores de placas. Esse tipo de falha não causa parada total do sistema, apenas no módulo onde está instalado e sua resolução é relativamente rápida. As falhas identificadas como entupimentos das agulhas são provocados pela má qualidade de determinados tipos de amostras. Os problemas mecânicos ocorrem por falta de lubrificação dos eixos das linhas de transporte. Os problemas de pressão/vácuo são causados por entupimento na linha hidráulica por cristalização. Esses tipos de falhas ocorrem com pouca frequência e não levam a paradas totais do sistema.

Quando a concessionária de energia elétrica interrompe o fornecimento de energia, o fornecimento deve ser sustentado pelo gerador do laboratório. Todavia, por falta de manutenção do gerador, esse

equipamento pode não funcionar durante a falta da energia da concessionária, o que leva a parada total do sistema.

#### 4.1 AÇÕES DE MELHORIAS

Foram planejadas e implantadas algumas ações de melhoria para eliminar ou minimizar a ocorrência dessas falhas, verificadas ao longo do ano de 2012. Nesse sentido, a primeira ação de melhoria foi feita para tratar as ocorrências e chamados por erros operacionais. Assim, foram planejados treinamentos para todos os operadores, ministrados de forma individual.

Para evitar a falta de água, foi instalado em Julho de 2012 um reservatório para o abastecimento exclusivo dos equipamentos do sistema de análises, para ser utilizado na ocorrência de falta de água da companhia de abastecimento. Para tratar os problemas de conectividade, foi realizada em Outubro de 2012 a troca e padronização de cabeamentos de rede e dispositivos relacionados, também foi feita a mudança do sistema de gerenciamento dos pacientes, aplicação que atua como interface entre os equipamentos de análises e a rede do laboratório.

Com relação aos problemas de falta de energia, foi solicitado em Abril de 2012, por parte da coordenação, à empresa responsável pelo gerador que fossem feitas as manutenções corretivas e, regularmente, manutenções preventivas no gerador e nos equipamentos de energia (*no breaks*), para que não houvesse mais a incidência desse problema. Quanto aos problemas *mecânicos*, foram realizados ajustes e lubrificação dos mecanismos e revisões no plano de manutenção, mas não houve necessidade de grandes mudanças, apenas alguns cuidados com a realização de todos os itens do plano de manutenção preventiva.

Os problemas relacionados aos sensores e placas eletrônicas foram tratados com a troca de alguns itens danificados e, durante os treinamentos, foi solicitado aos operadores a execução contínua da limpeza externa dos equipamentos. Os *problemas eletrônicos* ocorrendo muitas vezes devido à falha de um componente eletrônico.

Finalmente, em termos de realização de *manutenção preventiva* foram planejados com a Coordenação do laboratório os dias e horários das paradas, de forma que não gerasse grandes atrasos na entrega de resultados dos exames clínicos. As paradas foram planejadas para acontecerem de forma parcial e os serviços de manutenção preventiva passaram a ser realizados por dois técnicos mantenedores, para agilizar o reestabelecimento da disponibilidade do equipamento. Após a implementação das ações de



melhoria, 2012, a ocorrência das falhas em 2013 aconteceu conforme mostrado nos resultados da Tabela 2.

Tabela 2 – Ocorrências de falhas no ano de 2013

Ano de 2013			
Tipo de falha	QTE chamados	%	% Acumulado
Erros Operacionais	6	35%	35%
Problema Mecânico	3	18%	53%
Falta de água	2	12%	65%
Falta de Conectividade	2	12%	76%
Falha nos Sensores	1	6%	82%
Eletrônica/Placas	1	6%	88%
Entupimento de Agulhas	1	6%	94%
Falta de Energia	1	6%	100%
Problema de Pressão/Vácuo	0	0%	100%
TOTAL	17	100%	

Fonte: Elaboração própria, 2013.

Como se percebe facilmente, as ações de melhorias realizadas pela equipe de manutenção do fornecedor dos equipamentos impactaram positivamente todos os parâmetros analisados no ano de 2013 em relação ao ano de 2012. Além desses indicadores objetivos, o ganho na disponibilidade/eficiência do sistema de análises bioquímicas e de hormônios, viabilizou a prestação de um serviço de melhor qualidade à população atendida pelo laboratório.

#### 4.2 IMPACTOS DAS AÇÕES DE MELHORIAS NO DESEMPENHO DO SISTEMA

A tabela 3 abaixo apresenta de forma resumida as avaliações feitas para os anos de 2012 e 2013 em termos de disponibilidade em horas/ano e número de testes/ano:

Tabela 3 – Avaliação de capacidade do sistema de análises bioquímicas e de hormônios para os anos de 2012 e 2013

	2012	2013
Capacidade Nominal (horas/ano)	3.120	3.120
Perdas planejadas, manutenção diária (horas/ano)	520	520
Perdas planejadas, manutenção preventiva (horas/ano)	60	62
Capacidade efetiva (horas/ano)	2.540	2.538
Qte potencial de testes/exames (unidades/ano)	2.540.000	2.538.000

Fonte: Elaboração própria.

A partir das informações das quantidades de horas perdidas na realização de manutenções corretivas em 2012 e em 2013, pode-se calcular os percentuais correspondentes aos seus indicadores de eficiência e utilização para esses períodos e avaliar os impactos das ações de melhorias de manutenção sobre o desempenho desse sistema. Esses indicadores são apresentados na tabela 4, a seguir:

Tabela 4 – Indicadores de eficiência, utilização e manutenção do sistema de análises bioquímicas e de hormônios para os anos de 2012 e 2013

	2012	2013
EF (Eficiência)	94,40%	98,20%
UT (Utilização)	76,90%	79,90%
MTBF (meses)	1,75	4,25
MTTR (hs)	3,22	2,7
Qte. real de testes/exames (unidades/ano)	2.398.000	2.492.000

Fonte: Elaboração própria.

Verifica-se que as ações de melhorias descritas anteriormente levaram a uma elevação de 3,8% nos níveis de eficiência e a 3,0% nos níveis de utilização do sistema de análises bioquímicas e de hormônios do laboratório. Em termos de horas gasta com manutenções corretivas, essa melhorias nos níveis de eficiência do sistema equivale à redução de 67,6% do tempo gasto em manutenções corretivas. Em termos de quantidade de testes/exames significa dizer que a elevação na utilização do sistema,

decorrentes das melhorias implementadas, corresponde a um aumento na disponibilidade real de 94 horas/ano, o equivalente à realização de 94.000 testes/exames a mais em 2013.

## 5. CONCLUSÕES

Foi possível identificar com a contabilização das ocorrências de falhas, uma grande quantidade de horas dedicadas a manutenções corretivas em 2012, o que levou a necessidade de atuação conjunta das equipes coordenadora do laboratório e gestora das atividades de manutenção para o planejamento e implementação de ações para tratar as causas das falhas ocorridas, principalmente, daquelas consideradas críticas porque levam à parada total do sistema de análises clínicas estudado. Dentre essas falhas críticas, se destacam os erros operacionais.

As ações implementadas pela equipe de manutenção melhoraram a disponibilidade operacional (eficiência) do sistema em 3,8 %, tendo em vista que a eficiência do sistema em 2012 era 94,4% e, em 2013 elevou-se para 98,2%. Esse índice é muito significativo porque está acima da média dos ganhos de disponibilidade de muitas empresas, conforme dados da pesquisa da ABRAMAN (2011) onde as empresas de vários setores econômicos apresentaram ganhos médios de disponibilidade inferiores a 2% (entre os anos de 1997 a 2011).

O aumento na disponibilidade do sistema é positivo porque eleva sua produtividade, ou seja, permite a maximização das saídas (a elevação do número de exames realizados) utilizando a mesma capacidade instalada. A elevação da disponibilidade desse sistema foi alcançada pela menor ocorrência de paradas para manutenções corretivas. Isso também implicou em menores custos com a terceirização dos exames. No caso estudado, em termos de horas gasta com manutenções corretivas, houve uma redução de 142 h em 2012 para 46 h em 2013, o que implicou na diminuição dos custos com a terceirização dos exames na ordem de 67,6%, de 2012 para 2013.

De todas as ações, o treinamento e o acompanhamento das operações devem ser prioridades da gestão de manutenção. Foi observado em 2013, após a implementação das ações da manutenção, que houve variação simultânea dos indicadores MTBR (aumento no tempo médio entre falhas) e MTTR (diminuição no tempo médio de reparos), indicando uma condição desejada, e uma elevação na qualidade dos serviços de manutenção.

Chama atenção o fato de que as ações implementadas não exigiram esforços complexos para sua realização. Ao mesmo tempo causaram impactos positivos e significativos nos parâmetros avaliados, dependendo basicamente de planejamento participativo e continuidade/monitoramento das ações

iniciadas. Essa avaliação converge com os princípios da melhoria contínua de uma operação, através de planejamento e implementação de ações, medição de resultados, análise dos resultados e busca pela melhoria desses resultados. Nesse sentido, pode-se considerar que outras ações possam elevar os níveis de eficiência e utilização e melhorar as condições avaliadas pelos parâmetros MTBF e MTTR.

## REFERÊNCIAS

- ABRAMAN. A Situação da Manutenção no Brasil. 2011. Disponível em: <http://www.abraman.org.br/Arquivos/7/7.pdf> . Acesso em 15/12/2013.
- GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4ª ed., São Paulo: Atlas, 2002.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. Manutenção Função Estratégica. 3ª ed. Qualitymark, 2009.
- SLACK, N; CHAMBERS, S; JOHNSTON, R. Administração da Produção, 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- TAKAHASHI, O; OSADA, T. Manutenção Produtiva Total. 4ª ed. São Paulo: Instituto IMAM,1993.
- VERGARA, S. C. Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração. 4ª ed., São Paulo: Atlas, 2003.
- VIANA, H. R. G. Planejamento e Controle da Manutenção. 5ª Reimpressão. Rio de Janeiro. Qualitymark, 2013.
- VINHAS, R. D. Gestão da Manutenção de Equipamentos de laboratório: Uma estratégia para melhoria de desempenho da atividade de Pesquisa em uma Instituição de C&T em Saúde. Dissertação (Mestrado profissional em saúde pública – Centro de pesquisas Ageu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz. Recife, 2007).
- YIN, R.K. Estudo de caso: Planejamento e Métodos. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

# Capítulo 4



10.37423/220105259

## PROJETOS INTEGRADORES: UMA REFLEXÃO SOBRE A APLICAÇÃO DE EXPERIÊNCIAS COM BASE NA APRENDIZAGEM ORIENTADA POR PROJETOS

*Rafael Nunes Torres*

*Universidade de Brasília*

*Rafael Fernando Mendonça de Alencar*

*Universidade de Brasília*

*Antônio Julien Bertin Robert Koffi N'Guessan*

*Universidade de Brasília*

*Dianne Magalhães Viana*

*Universidade de Brasília*

*Ana Carolina Kalume Maranhão*

*Universidade de Brasília*

*daniela.garrossini@gmail.com*

*Universidade de Brasília*



**Resumo:** *Nos cursos de engenharia a aprendizagem orientada por projetos surge como uma proposta para desenvolver competências técnicas e não técnicas por meio da execução de projetos reais ou a partir da criação de um ambiente de simulação. Este método transfere para o estudante a responsabilidade por seu próprio aprendizado, que vai se consolidando durante o processo de elaboração do projeto. Além das competências relacionadas ao planejamento e à gestão da execução do projeto, a literatura indica que a aprendizagem baseada em projetos propicia o desenvolvimento de competências transversais como a capacidade comunicação oral e escrita, capacidade de trabalhar em equipe, a capacidade de adquirir conhecimento nas várias áreas relacionadas ao tema de estudo. O presente trabalho de pesquisa tem como objetivo descrever algumas reflexões acerca das experiências realizadas de 2007 a 2009 na Faculdade de Tecnologia, da Universidade de Brasília com os “Projetos Integradores”. Tais reflexões foram realizadas pelos estudantes autores que participaram como observadores do processo de avaliação, após terem atuado como estudantes matriculados. Com base em suas reflexões sobre os resultados alcançados têm sido propostas novas formas de abordagem e de execução destas atividades para motivação tanto dos discentes quanto dos docentes envolvidos.*

**Palavras-chave:** *Aprendizagem Baseada em Projetos, Ensino em Engenharia, Métodos de Ensino e Aprendizagem.*



## 1 INTRODUÇÃO

Uma discussão recorrente nos ambientes de ensino consiste na comparação entre as metodologias de ensino: tradicional ou sequencial, centrada no professor e a ativa ou concorrente, centrada no estudante. Mais importante do que defender esta ou aquela metodologia é buscar a sua adequação aos objetivos da aprendizagem, sua eficácia e a boa receptividade desta entre os docentes e os discentes.

As metodologias de ensino devem possibilitar aos estudantes a construção de conceitos e o desenvolvimento de competências. O processo de construção de conceitos requer conhecimentos prévios relacionados às áreas de conhecimento envolvidas na solução de um problema. Já o desenvolvimento de competências requer a vivência de situações nas quais aptidões, habilidades, atitudes, são requeridas. De acordo com Zorzo e Cantú, as metodologias devem levar em conta o perfil geral dos estudantes que entram nos cursos de graduação como “o pouco hábito de pensar e resolver problemas por si próprios, a cultura de estudar somente para provas sem a preocupação com a construção do conhecimento e suas visões extremamente pragmáticas, ou seja, o interesse despertado a partir do conhecimento de como cada conceito será usado na sua vida profissional” (ZORZO & CANTÚ, 1999).

Além disso, devem-se levar em conta as diferenças nos estilos de aprendizagem dos estudantes. Baseados em suas pesquisas, Felder e Silverman afirmaram que a maioria dos estudantes de graduação em engenharia é do tipo sensorial, enquanto que seus professores em grande número são intuitivos, focados mais em abstrações e modelos matemáticos. Além disto, eles acrescentam que a maior parte dos estudantes é do tipo visual, enquanto a maioria das disciplinas ministradas são verbais. Em todas as classes existem estudantes ativos e reflexivos, porém a maior parte das aulas é passiva (FELDER & SILVERMAN, 1988).

Em relação à orientação que a maioria dos professores de engenharia pratica em suas disciplinas, Keirse e Bates afirmam que as atividades são direcionadas para os estudantes introvertidos, intuitivos, racionais e estruturados (KEIRSEY & BATES, 1984).

Ainda, com relação à adequação dos estilos de aprendizagem às formas de ensino, Freitas e outros afirmam que “o ensino e as metodologias educacionais utilizadas devem ser repensados de modo a privilegiar os vários tipos de aprendizagem para que os objetivos propostos sejam realmente

alcançados, ou seja, a construção do conhecimento seja possível em todos os seus âmbitos” (FREITAS et al., 2006).

Neste sentido, a aprendizagem baseada em problemas (PBL) surge como uma abordagem coletiva, centrada no estudante, capaz de promover um processo de construção do conhecimento e de resolução de problemas favorecendo o pensamento crítico e a reflexão (MAUDSLEY, 1999). Nesta abordagem faz-se uso de problemas reais – relevantes e contextuais-, mal estruturados, que exigem dos estudantes um esforço na percepção do problema e demandam a procura de novas informações. No presente trabalho são realizadas reflexões acerca de experiências com a implementação de “projetos integradores” na Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. Tais reflexões foram efetuadas pelos estudantes autores que participaram como observadores do processo de avaliação de alguns projetos, após terem atuado como estudantes matriculados. Com base em suas reflexões sobre os resultados alcançados, têm sido propostas novas formas de abordagem e de execução destas atividades com vistas a obter-se uma maior motivação tanto dos discentes quanto dos docentes envolvidos.

Os objetivos desta proposta se inserem, inicialmente, num contexto interdisciplinar, no qual a metodologia é aplicada com base na interação participativa que inclui a construção de uma premissa comum a um conjunto de campos de saberes conexos. A premissa comum é o desenvolvimento de um projeto de engenharia cujo tema é definido com base nas demandas da sociedade, do mercado, ou da própria instituição. O campo de saberes conexos é representado pelas disciplinas (obrigatórias ou não) envolvidas nesse projeto durante o semestre letivo. Há possibilidade de envolver quaisquer disciplinas dos cursos da Faculdade de Tecnologia e de acrescentar outras áreas de conhecimento.

## 2 HISTÓRICO

Uma das experiências pioneiras com PBL ocorreu na Faculdade de Medicina da Universidade de McMaster, Hamilton, Canadá, 1969. De acordo com Haslett, “a experiência foi precedida por anos de questionamento, críticas e de planejamento e provou ser mais do que um modismo, influenciando universidades por todo o mundo” (HASLETT, 2001).

Por meio da abordagem PBL pode ser criado um ambiente no qual a solução de problemas reais exija atitudes que propiciem o desenvolvimento de competências. Desta forma, ampliam-se as possibilidades de aplicação desta abordagem em diversas áreas de conhecimento, não necessariamente relacionadas à Saúde, tais como Administração, Arquitetura, Ciências Ambientais,

Ciências da Computação, Ciências Sociais, Economia, Educação Física, Engenharias, Matemática, Turismo.

São conhecidas experiências com PBL em diversos países no mundo como: África do Sul - University of Cape Town, Austrália - Griffith University, Dinamarca - Aalborg University, Estados Unidos - Samford University, Finlândia - Jyväskylä University, Holanda - Maastricht University, Peru - Pontificia Universidad Católica, Suécia - Linköping University, Suíça - Universität Zurich.

Campos indica que as diversas denominações que surgiram para esta abordagem, com o passar dos tempos, modificam apenas o foco de aplicação do método: *i)* PBL (Aprendizagem Baseada em Problemas) - aborda assuntos institucionais; *ii)* PLE/PBLE (Project Led Education/Project Based Learning in Engineering, United Kingdom, Aprendizagem Baseada em Projetos) - aborda assuntos ligados à comunidade; *iii)* PPBL (Aprendizagem Baseada em Problemas e Projetos) - aborda assuntos relacionados à instituição e à comunidade; *iv)* P3BL (Aprendizagem Baseada em Problemas, Projetos e Práticas) - aborda assuntos de interesse da instituição, da comunidade e da indústria (CAMPOS, 2009).

A denominação PBL muitas vezes tem sido utilizada para a aprendizagem baseada em projetos (Project based learning). Já a denominação PLE foi utilizada por Powell e Weenk para indicar a adoção de uma metodologia de ensino-aprendizagem ativa e colaborativa, baseada no aluno e no seu desempenho. Também se concentra no trabalho em equipe, no entanto desenvolve competências de ordem técnica e diferencia-se por criar simultaneamente, competências transversais, tais como, trabalho em equipe, disciplina, espírito crítico, iniciativa, e relaciona conteúdos interdisciplinares de forma integrada (POWELL E WEENK, 2003).

### 3 UM AMBIENTE PARA DESENVOLVER COMPETÊNCIAS

Com o intuito de integrar a teoria e a prática buscando soluções para problemas retirados de situações reais, com características interdisciplinares, um grupo de professores da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília propôs a inserção de projetos integradores nos currículos dos cursos de engenharia.

A experiência foi iniciada no curso de Engenharia Mecânica, no primeiro semestre de 2007, de maneira não formal, envolvendo estudantes de três disciplinas de diversas fases do curso de tal modo que alunos com experiências e vivências acadêmicas diferenciadas pudessem trocar informações e trabalhar de maneira cooperativa para alcançar um determinado objetivo.

Os projetos a serem desenvolvidos são escolhidos em função de sua abrangência. Aspectos gerenciais, organizacionais e assuntos não correlatos de engenharia relacionados ao projeto contribuem para a criação de um ambiente semelhante ao que os estudantes encontrarão em suas vidas profissionais ao participarem de uma equipe de projeto. Com isso, são desenvolvidas competências e habilidades que normalmente não seriam possíveis em uma disciplina tradicional.

### 3.1 CURRÍCULOS AVESSOS A MUDANÇAS

Muito se tem discutido sobre como implementar mudanças nos currículos para formar engenheiros que obtenham, além da capacidade técnica, gerencial e humanística e das atitudes comportamentais necessárias, capacidade de aprendizagem continuada e tenham uma visão internacional sem perder a dimensão dos problemas regionais e locais. Várias ações têm sido propostas.

Nos novos campi (criados após as diretrizes curriculares) os currículos são mais flexíveis e já contemplam conteúdos e direcionamentos para este fim. Em cursos já existentes, as mudanças são mais lentas, pois as estruturas curriculares são muito rígidas, a maioria destas ações é de caráter restrito, com resultados pouco efetivos. Sendo assim, como manter os conteúdos que possibilitem uma adequada formação científica e tecnológica e ao mesmo tempo construir um currículo de engenharia sintonizado com os novos paradigmas da educação global sem aumentar o tempo de permanência do estudante em seu curso?

### 3.2 MODELO

O modelo utilizado nas experiências realizadas se baseia na formação de um ambiente para desenvolvimento de projetos interdisciplinares capaz de criar oportunidades que proporcionem a construção do conhecimento, técnico e não técnico.

Um grupo de disciplinas das grades curriculares das engenharias ou “disciplinas-alvo” é escolhido conforme o tema dos projetos a serem realizados. A Figura 1 mostra um esquema em que o Projeto Integrador é usado para agregar conhecimentos motivados a partir dos conteúdos curriculares (técnicos ou científicos) apreendidos.

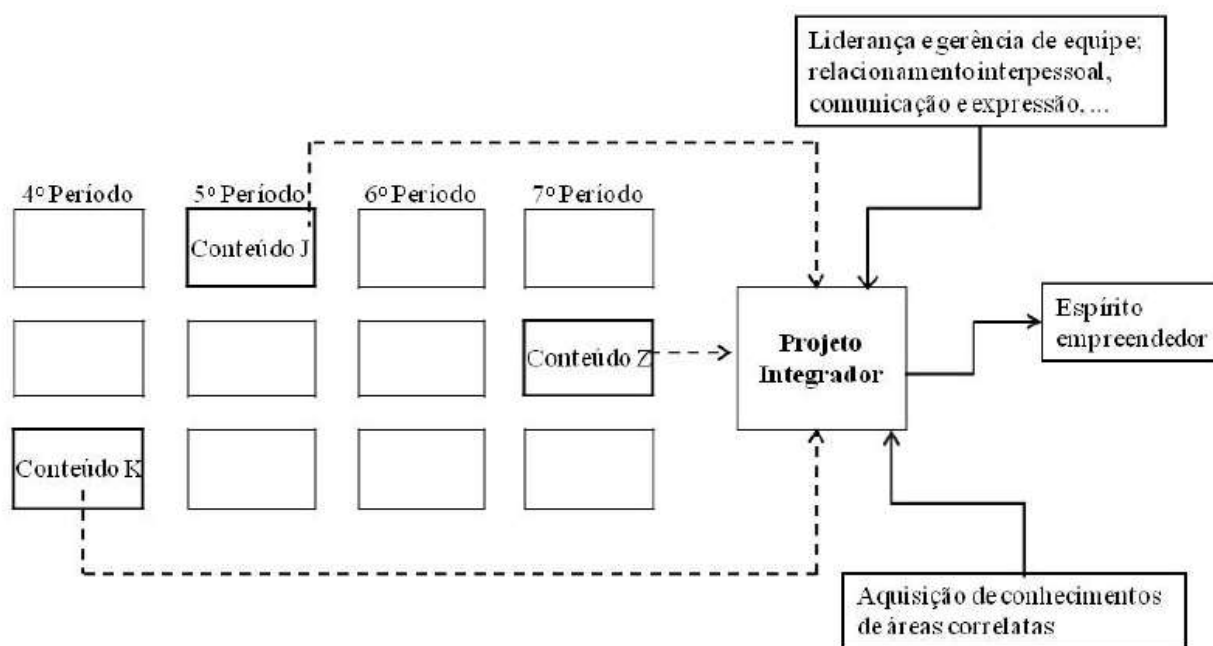


Figura 1 – Esquema exemplificando a abrangência do Projeto Integrador na matriz curricular.

Os professores das disciplinas participam na orientação, supervisão e avaliação das atividades - um dos quais atuará como coordenador geral do Projeto Integrador - e os alunos participam como executores dos projetos.

A metodologia aplicada pressupõe que os grupos executores ou equipes de projetos sejam constituídos por normas próprias de conduta dos seus membros, que consistem de códigos de compromissos éticos e de trabalho e atuem de forma autônoma, com responsabilidade sobre as decisões tomadas. As equipes são formadas por estudantes advindos das disciplinas-alvo, de diferentes semestres e por estudantes externos a estas disciplinas, como voluntários. As equipes são formadas com base na disponibilidade de carga horária comum entre os estudantes. O tamanho da equipe depende do número de disciplinas-alvo envolvidas e do número de alunos em cada disciplina. Além do desenvolvimento do projeto e das tarefas relativas ao acompanhamento e controle da execução destes, palestras, mini-cursos e jogos motivacionais são utilizados para motivação e para complementar a formação.

Como resultado dessas ações obtém-se: um ambiente propício ao desenvolvimento de competências transversais; a motivação dos estudantes por estes estarem envolvidos na solução de problemas reais; uma maior interação universidade-empresa ou universidade-comunidade; um perfil do egresso condizente com as propostas dos projetos pedagógicos dos cursos da Faculdade de Tecnologia; o uso

de procedimentos educacionais que favoreçam a transdisciplinaridade; a integração de diferentes áreas de conhecimento e; o aperfeiçoamento técnico dos envolvidos.

### 3.3 METODOLOGIA

A metodologia adotada no Projeto Integrador consiste no uso de uma estratégia pedagógica de ensino-aprendizagem, que usa conceitos de projetos, incluindo o ciclo de desenvolvimento de trabalho, estruturação de documentação, identificação das regras e responsabilidades, apoiados por ferramentas de comunicação e de controle e acompanhamento de projetos (VIANA *et al*, 2009, SANTANA *et al.*, 2008). O Projeto Integrador é executado em três etapas: pré-projeto, projeto e pós-projeto. A etapa pré-projeto é executada antes do início do semestre letivo pelos professores e consiste na definição dos recursos necessários à implementação do projeto de engenharia escolhido. Como resultado é elaborado um Plano de Ação que será apresentado aos estudantes no início das aulas, ou no início da etapa projeto. Este Plano de Ação contém informações sobre o objetivo a ser alcançado, os estudantes envolvidos no projeto, o tema a ser desenvolvido, as fases e marcos do projeto, disciplinas e conteúdos relacionados, métodos de avaliação e os pontos de controle.

Na etapa projeto, o problema proposto é executado pelos grupos durante o semestre, em aproximadamente 15 semanas. Os estudantes, monitores e os professores fazem parte dessa fase. Esta etapa é subdividida em cinco fases com objetivos definidos para um melhor controle gerencial. As fases do projeto são: *iniciação do projeto*, *plano de projeto*, *execução do projeto*, *avaliação preliminar* e *conclusão do projeto*.

A fase *iniciação do projeto* está relacionada a atividades básicas, que são apresentação da metodologia de trabalho, divisão e organização dos grupos de projeto e realização de palestras sobre gerenciamento de projetos. É nessa fase que o Plano de Ação é apresentado aos alunos. O Termo de Concordância (regras de condutas estabelecidas por cada grupo), e o Termo de Abertura (informações gerais sobre o projeto, entregas e atribuições do grupo) são definidos e escritos por cada grupo. Essa fase tem duração de três semanas.

Na etapa do *plano de projeto*, as equipes preparam um documento homônimo que contém informações sobre definições, preparação, integração e coordenação de atividades que serão necessárias ao projeto. Durante esta etapa, minicursos sobre ferramentas de controle, monitoramento e gerenciamento de projetos são ministrados. Durante a fase de *execução do projeto*, os grupos buscam atingir os objetivos por eles definidos no Plano de Projeto o que envolve a

coordenação do trabalho, de pessoas e de recursos disponíveis. Esta fase tem duração de sete semanas.

A fase *avaliação preliminar* consiste na verificação e acompanhamento do projeto que foi realizado até esta data, com base no que foi proposto por cada grupo em seu Plano de Projeto. Esta fase permite identificar problemas e auxiliar os estudantes com medidas de correção, sem, no entanto, dar soluções para o projeto. Os encontros são denominados Pontos de Controle e podem ser marcados com 48 horas de antecedência.

Na *conclusão do projeto* é apresentado o resultado final do projeto e entregue um relatório técnico. Nessa fase é realizada uma avaliação criteriosa pelos professores envolvidos no projeto, considerando resultados individuais e do grupo. São avaliados o produto, o processo de implementação do produto e o trabalho colaborativo. Esta fase dura uma semana.

Com base nesta metodologia serão efetuadas reflexões acerca do processo, dos sucessos e fracassos e das experiências adquiridas durante dois anos de realização desta disciplina juntamente com proposta de melhorias desse método de ensino-aprendizagem.

#### 4 EXPERIÊNCIAS REALIZADAS

O Projeto Integrador (PI) teve início em 2007 constituindo não uma disciplina, mas um projeto, cuja base de conhecimento é propiciada por um grupo de disciplinas. Os resultados do projeto contribuiriam para o resultado final de cada uma destas disciplinas com base em um peso pré-definido. A partir do segundo semestre de 2008, o Projeto Integrador foi formalizado por meio de uma disciplina optativa do currículo de Engenharia Mecânica, mantendo a idéia de interligação à outras disciplinas, duas ou três, em função do tema escolhido para o projeto daquele período. Na Tabela 1 são mostrados alguns aspectos relacionados ao PI no período de 2007 a 2009.

Tabela 1 - Organização geral do Projeto Integrador no período de 2007 a 2009.

Semestre	Disciplinas-alvo	Peso na Média Final	Estudantes	Tema do projeto
01/2007	*Estática *Dinâmica *Mecânica dos Materiais *Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos	20% 30% 15% 30%	120	Vários – Parque de diversões
02/2007	*Termodinâmica *Projeto de Sist Mecânicos	30% 30%	72	Motor Stirling
01/2008	*Projeto de Máquinas *Termodinâmica	40% 30%	68	Prensa de forjamento a quente
02/2008	*Dinâmica *Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos *Projeto de Máquinas *Termodinâmica	30% 15% 20% 30%	53	Separador de grãos Bomba D' Água
01/2009	*Projeto de Máquinas *Maquinas Térmicas	40% 35%	80	Compressor CNG
02/2009	*Dinâmica *Projeto de Máquinas *Mecânica dos Materiais *Sistemas Reconfiguráveis	20% 30% 20% 100%	36	Máquina para ensaio de Fretting Robótica Modular

A queda do número de participantes observada no segundo semestre de 2009 é justificada pela não obrigatoriedade dos estudantes participarem do PI no âmbito das três primeiras disciplinas-alvo.

## 5 REFLEXÕES ACERCA DAS EXPERIÊNCIAS REALIZADAS

Além da metodologia aplicada, foram utilizadas como referência para as reflexões aqui realizadas, as notas finais da disciplina (Projeto Integrador) nos últimos semestres em que foi ministrada. Também foram utilizados os resultados de um questionário para auto-avaliação e avaliação da equipe e efetuadas entrevistas informais com estudantes participantes.

Existe uma grande resistência quando o assunto é mudança. Mudar um método de ensino pode ser complicado e, neste caso específico, por não ser uma atividade obrigatória, demanda uma estrutura não presente na instituição e requer um esforço para sua execução tanto por parte dos professores quanto dos estudantes. Além disso, os estudantes de engenharia em geral consideram que os métodos tradicionais de ensino e avaliações funcionam bem e possibilitam melhores condições para o acompanhamento das atividades realizadas durante o curso. Eles creditam a estes métodos um importante papel no seu desenvolvimento. Cabe aqui, no entanto, enfatizar que a aplicação de



métodos tradicionais de forma generalizada ao longo de todo o curso não tem contribuído para a formação de um profissional de perfil autônomo e inovador. E que a introdução de métodos baseados na aprendizagem orientada por projeto tem por objetivo suprir as deficiências do ensino tradicional neste sentido e não apenas ser uma alternativa para aqueles que não têm um bom aproveitamento em métodos clássicos de ensino, como muitos estudantes consideram. É um método que exige o aprendizado por meio de atitudes, de maneira similar ao desenvolvimento do aprendizado em um ambiente profissional.

## 5.1 GANHOS OBTIDOS

A aprendizagem orientada por projetos, segundo os próprios estudantes envolvidos, tem proporcionado ganhos em termos de aplicação de conhecimentos específicos na área de engenharia e de conhecimentos em áreas não técnicas, necessários para o desenvolvimento e execução do projeto. Isto pode ser explicado pelo fato dos estudantes receberem uma sólida formação teórica, mas com deficiências em contextualização e aplicação principalmente nas disciplinas da área de ciências humanas. Tal fato pôde ser observado por meio de avaliações de opinião realizadas ao término do projeto nas quais os estudantes descreveram como bastante positiva a experiência de aprendizado durante o projeto, apesar de terem reconhecido ser necessário maior esforço em termos de horas de trabalho. Mesmo as dificuldades relacionadas à gestão de pessoas e à organização da equipe foram registraram como experiências positivas para sua formação.

Os principais aspectos positivos relatados foram: *i)* encontrar métodos eficientes para gestão do tempo; *ii)* encontrar soluções práticas e viáveis para problemas técnicos e não técnicos que surgem no decorrer do projeto; *iii)* aprender a lidar com as diferenças pessoais e a resolver conflitos dentro da equipe; *iv)* empregar conteúdos e técnicas aprendidos ao longo do curso e oferecidos por meio de minicursos durante a execução do projeto.

## 5.2 DIFICULDADES ENCONTRADAS

O Projeto Integrador enfrentou e tem enfrentado dificuldades, tanto de organização quanto de aceitação por parte de estudantes e de professores. Os estudantes alegam que a participação demanda tempo e esforço e os sobrecarrega. Além disso, os professores apresentam certo descrédito quanto à eficiência deste recurso. Estas alegações ocorrem em parte em função da relação entre a quantidade de trabalho e o número de créditos concedidos - por parte dos alunos - e do desconhecimento e pouco envolvimento por parte dos professores.

Dentre as dificuldades relatadas pelos estudantes cita-se: *i)* grande quantidade de alunos na equipe; *ii)* falta de apoio e interesse de alguns professores; *iii)* falta de estrutura física e financeira para o desenvolvimento do produto do projeto.

A cada semestre são selecionadas, pelo menos, duas disciplinas que integrarão o PI. Cada disciplina contém, no mínimo, 30 estudantes. Esta grande quantidade de estudantes possui algumas vantagens e desvantagens. Analisando o lado positivo, com uma maior quantidade de grupos tem-se uma maior variedade de soluções e opções de desenvolvimento para o projeto, isto fica ainda mais evidente por serem alunos com experiências acadêmicas bem diferentes. Por outro lado, demanda um esforço maior para organizar os grupos, elaborar e avaliar atividades durante a execução do projeto.

Alguns projetos desenvolvidos poderiam ser utilizados para o benefício de comunidades, outros poderiam favorecer a própria universidade, porém esbarram em um problema bem recorrente das instituições federais de ensino: a falta de recursos financeiros para sua implementação e manutenção, principalmente em se tratando de projetos de disciplinas de graduação. A hipótese de que o projeto venha a ser utilizado é uma motivação maior para os estudantes. Entretanto, este problema não é impossível de ser resolvido: pode-se buscar patrocínios de empresas para financiamento da execução de projetos tanto de interesse destas, quanto para benefício de comunidades. Outra solução seria associar os projetos desenvolvidos com projetos de extensão e obter assim o apoio institucional necessário e até a possibilidade de concorrer em editais com recursos para a extensão universitária.

Uma questão levantada pelos entrevistados consistiu na falta de interesse de alguns. Um grande problema quando se trabalha em grupo é fazer com que todos os integrantes trabalhem e produzam de maneira equivalente. Tarefa complicada, quando todos os integrantes têm diversas outras atividades como seminários, trabalhos, provas, a serem realizadas e, alguns mais que os outros. Por isso, muitos acabam desmotivados e não se dedicam de maneira adequada ao projeto, por conseguinte, dificultam e até inviabilizam um bom resultado da equipe.

Em experiências deste tipo, o trabalho dos docentes deve envolver uma constante motivação dos estudantes de tal forma a fazê-los perceber a importância da aprendizagem baseada em projetos.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho mostrou alguns aspectos da aprendizagem baseada em projetos, em experiências desenvolvidas de 2007 a 2009 na Faculdade de Tecnologia, da Universidade de Brasília. Dentro do proposto verificou-se que, de um modo geral, os estudantes perceberam a importância do projeto

para o seu futuro profissional, por meio de experiências que propiciaram o desenvolvimento de competências transversais relacionadas ao trabalho em equipe, o gerenciamento de conflitos, a realização de tarefas em prazos determinados e a tomada de decisão para a concretização do projeto.

Por outro lado, várias dificuldades surgem quando se trata de modificar estruturas já consolidadas de qualquer natureza e esta realidade não é diferente na implementação de um novo método de ensino-aprendizagem. Pode-se perceber, no entanto, que a cada período letivo de execução do Projeto Integrador, a abordagem se firma como um instrumento válido e valioso na formação do estudante de engenharia.

Com base nas reflexões, sugestões foram realizadas de maneira a tornar mais estimulantes e proveitosas as experiências com a execução dos projetos e facilitar um maior envolvimento tanto de estudantes, quanto de professores.

#### AGRADECIMENTOS

Ao Decanato de Ensino de Graduação (DEG) e ao Decanato de Extensão (DEX) da UnB pelo apoio institucional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, L. C. ; DIRANI, E. A. T. ; LOPES, J. A. ; PIALARISSI, P. R. ; WUO, W. . PBL in the Teaching of Biomedical Engineering: a Pioneer Proposal in Brazil. In: 1st Ibero-American Symposium on Project Approaches in Engineering Education, PAEE, 2009, Guimarães, Portugal.

FELDER, R. M.; SILVERMAN, L. K., 1988. Learning and teaching styles in engineering education. Journal of Engineering Education, v. 78, n. 7, p. 674-681, abr. 1988.

FREITAS, A. A., CRUZ, C. A., ESCRIVÃO, E. F. Contribuições dos estilos de aprendizagem no ensino das teorias administrativas em engenharia de produção. Anais: XIII SIMPEP - Bauru, SP, 2006.

HASLETT, L., 1969: McMaster University introduces problem-based learning in medical education. 2001. In Daniel Schugurensky (Ed.), History of Education: Selected Moments of the 20th Century [online]. Available: [http://fcis.oise.utoronto.ca/~daniel\\_schugurensky/assignment1/1969mcmaster.html](http://fcis.oise.utoronto.ca/~daniel_schugurensky/assignment1/1969mcmaster.html). (Acessado em 15/3/2010).

KEIRSEY, D.; BATES, M., Please Understand Me. CA: Prometheus Nemesis Book Company, 1984

MAUDSLEY, G. Education and debate. Roles and responsibilities of the problem based learning tutor in the undergraduate medical curriculum, British Medical Journal, 318, p. 657-661, 1999.

POWELL, P. C. AND WEENK, W., Project-led engineering education. Lemma: Utrecht. 2003.

SANTANA, A.C., JÚNIOR, T. D, FILHO, W. B. V., CARVALHO, J. D. A. AND JÚNIOR, H. A., “Uma metodologia para implementação da aprendizagem orientada por projeto, na engenharia, com foco nas competências transversais.”, Anais: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, São Paulo, 2008.

VIANA, D. M., SANTANA A. C., SOUZA E SILVA, M. F., ABDALLA JUNIOR, H., The project-based learnig as a tool for development of soft skills in engineering curricula, Proceedings of the 20th Internacional Congress of Mechanical Engineering, Rio Grande do Sul, Brasil, 2009.

ZORZO, C. A., CANTÚ, E. Ensino Seqüencial X Ensino Concorrente. 4f. Trabalho acadêmico (Disciplina de Informática Aplicada à Educação) - Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

# Capítulo 5

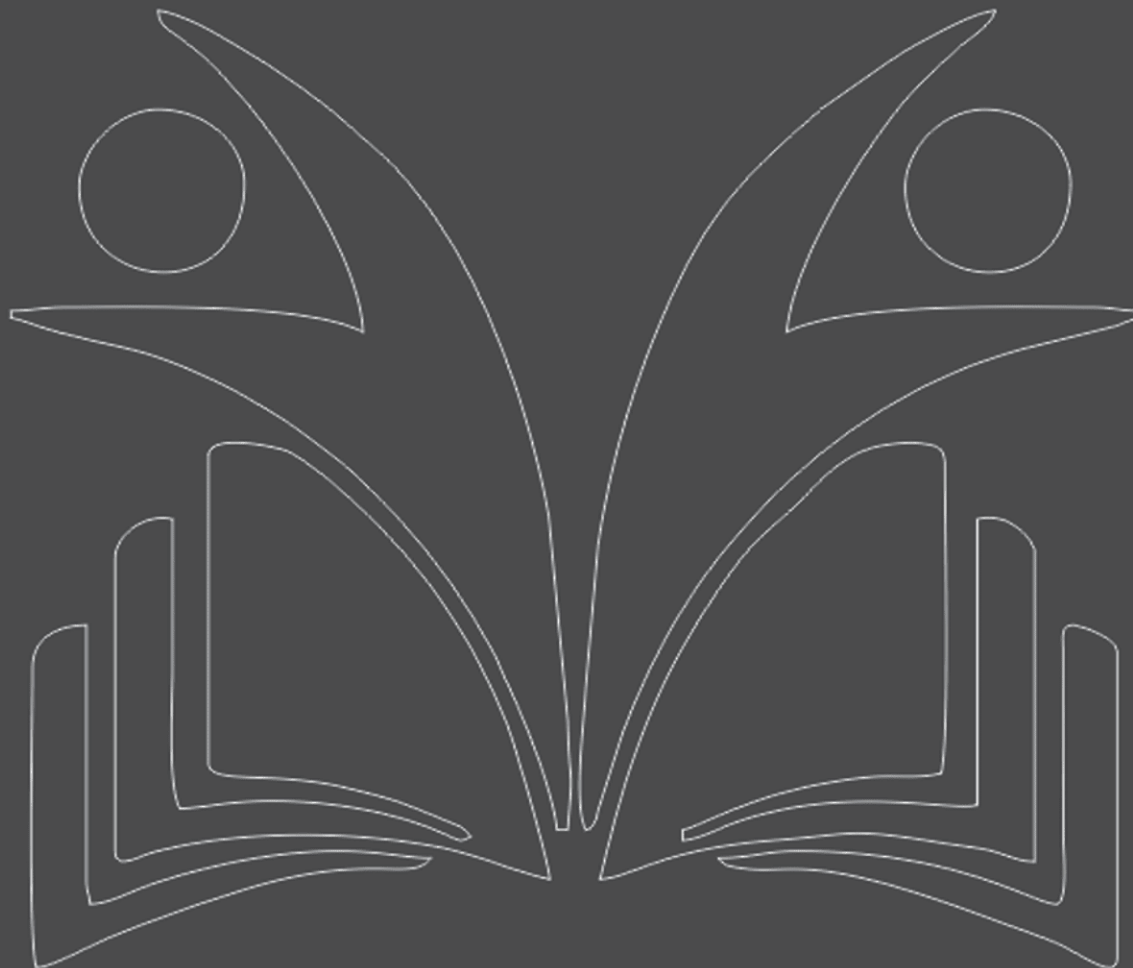


10.37423/220105260

## OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS UTILIZANDO GRG, SOLVER E EXCEL

*Marco Antônio Rahal Sacoman*

*Universidade Estadual Paulista*



**Resumo:** A modelagem e a solução de projetos através de otimização são técnicas que podem ser utilizadas pelos próprios profissionais das áreas que tratam desses projetos e que, de forma geral, podem ser profissionais de qualquer área do conhecimento. Isto ocorre, pois qualquer projeto que possa ser expresso através de equações matemáticas, em qualquer área do conhecimento, é candidato a ser considerado um problema de otimização. Contudo, os profissionais destas áreas nem sempre conhecem os métodos, algoritmos e programas computacionais que resolvem problemas de projeto ótimo. O principal objetivo deste texto é apresentar uma ferramenta de grande eficiência na solução de problemas de otimização, que pode ser utilizada de forma prática, definindo-se o problema de forma simples, através de equações introduzidas em células de planilha eletrônica. Trata-se da planilha Excel, amplamente conhecida para cálculo simples, mas que possui, também, ferramentas poderosas, não tão conhecidas, como o Solver, que utiliza métodos como Simplex para solução de problemas lineares e GRG para solução de problemas não-lineares. É importante considerar que o Método do GRG é tido, desde sua primeira implementação computacional estável (GRGA-1975), até a presente data, como o método mais eficiente para solução de problemas gerais de programação não-linear.

**Palavras-chave:** Otimização, Projeto ótimo, Modelos lineares e não-lineares, GRG, Solver, Excel.

## 1. INTRODUÇÃO

A modelagem e a solução de projetos são, em geral, desenvolvidas por profissionais que nem sempre têm conhecimentos sobre otimização e, desta forma, limitam-se a resolver o problema de forma clássica, ou seja, utilizando os conceitos e os algoritmos para solução desses projetos, os quais podem ser de qualquer área do conhecimento. Desta forma, para qualquer tipo de projeto, o que o projetista realmente faz é uma verificação dos valores impostos para os parâmetros do projeto, com relação aos seus limites, os quais são relacionados às equações técnicas dos problemas ou às próprias variáveis. Para aqueles que já são, ao menos, iniciados em otimização, é fácil entender que o projetista verifica se a solução pertence à região viável descrita pelas restrições do projeto. Portanto, projetar da forma clássica é atribuir parâmetros e verificar a solução. Toda e qualquer tentativa de se encontrar uma solução melhor é feita por modificação dos parâmetros e nova verificação da viabilidade da solução. Isto seria similar às iterações de um procedimento de otimização, porém sem qualquer critério matemático de busca do ótimo. Seriam apenas cálculos e mais cálculos para se encontrar uma melhor solução, através de tentativa e erro. Quando estes profissionais projetistas são apresentados à otimização, deparam-se com dois sentimentos: de êxtase, por saber que existem técnicas para encontrar soluções melhores que aquelas oferecidas pelo procedimento clássico, e de frustração, pela falta de conhecimento dos métodos, algoritmos e programas computacionais que resolvem estes problemas.

O sentimento de frustração pode ser facilmente resolvido utilizando-se uma ferramenta poderosa que se encontra disponível no programa Microsoft Excel. Trata-se do Módulo Solver, que permite resolver problemas de otimização descritos através de equações escritas nas células da planilha. Para melhor compreensão segue um breve histórico da criação desta ferramenta.

## 2. HISTÓRICO - GRG, SOLVER E EXCEL

Rosen (1960) apresentou o Método do Gradiente Projetado, para solução de problemas de programação matemática com função objetivo não-linear e restrições lineares. A seguir, Rosen (1961) estendeu o seu método para o caso geral, onde não somente a função objetivo, mas também as restrições, são não-lineares. Wolfe (1963) apresentou o Método do Gradiente Reduzido, que resolve a mesma classe de problemas de Rosen (1960), mas com uma formulação muito mais simples que aquela. Carpentier e Abadie (1966) generalizaram o método de Wolfe e este método ficou mais eficiente que a generalização feita anteriormente por Rosen. O trabalho de Carpentier e Abadie foi

apresentado no Quarto Congresso Internacional de Pesquisa Operacional, em 1966. O Método ficou conhecido como Método do Gradiente Reduzido Generalizado e abreviado como GRG (Gradient Réduit Généralisé, Generalized Reduced Gradient ou Gradiente Reduzido Generalizado).

Durante quase uma década foram efetuadas implementações computacionais deste método em diferentes computadores, com a linguagem apropriada na época (Fortran) e, em todas as implementações, os testes mostravam a eficiência do método. Lasdon (1974) já demonstrava interesse na utilização o GRG para solução de problemas de otimização não-linear.

Abadie (1975) desenvolveu o código computacional conhecido como GRGA, escrito em Fortran, com aproximadamente 5000 linhas de código fonte. Esta versão continha bibliotecas para cálculo do gradiente da função objetivo e do jacobiano das restrições e bastava que o usuário escrevesse um programa principal, duas sub-rotinas para definir a função objetivo e as restrições e a chamada para o código GRGA, que já deveria estar compilado para o computador em questão. Isto significava um grande avanço para a época.

Waren e Lasdon (1979) deram uma descrição detalhada do desempenho de vários códigos computacionais em uso na época, informando a diferenciada qualidade do GRG. A seguir, Lasdon efetuou algumas modificações no algoritmo e o batizou como GRG2. Em 1980, já estava disponível em forma de código computacional (LASDON, 1980). Ressalte-se que estas modificações foram efetuadas no algoritmo e, conseqüentemente, no programa computacional, preservando o método original. Além disto, embora muitos pensem que o Método do GRG foi criado por Lasdon, os criadores deste método são, efetivamente, Carpentier e Abadie.

Hock e Schittkowski (1981) fazem um estudo comparativo com uma série extensa de problemas executados através de alguns dos códigos considerados mais eficientes. Em centenas de problemas testados, o GRGA foi o mais eficiente em quase todos os testes.

Lasdon distribuiu comercialmente cópias do código GRG2, compilado para diferentes computadores. Naquela época, cada diferente computador tinha seu próprio sistema operacional e requeria compilação própria para executar um programa.

Posteriormente, a empresa Frontline Systems Inc. adquiriu os direitos de utilização do método e criou o Solver em diferentes versões que podiam ser adquiridas por quem quisesse e pudesse pagar por elas. Os valores eram muito altos para pessoas comuns, mas não são tão altos para empresas como



NASA, Bell Aerosystems, Boeing ou empresas de menor porte que eram atendidas pela Frontline de forma diferenciada, para que comprassem seus produtos.

Esses produtos, que utilizam o GRG ou outros métodos, são vendidos, atualmente, em forma de arquivos DLL (Dynamic Link Library) para utilização com programas que façam uso da biblioteca, sob o sistema operacional Windows. São vendidas, também, versões para outros sistemas. Para que se conheçam estas versões, sugere-se o endereço [www.solver.com](http://www.solver.com).

A Frontline iniciou uma parceria com a Microsoft, trabalhando em versões anteriores do Windows e do Excel. Foi desenvolvida uma versão específica do Solver para uso através de planilhas. Desde então, mais de 500 milhões de cópias do Frontline Solver para otimização foram distribuídas através de sua inclusão em cada cópia do Microsoft Office. Assim, qualquer pessoa que utilize o Excel poderá utilizar o GRG.

Segue o método GRG, como descrito, originalmente por Carpenier e Abadie. Pela complexidade do método, do algoritmo e de todas as possíveis implementações computacionais, pode ser visto na Seção 5 que a utilização desta ferramenta, através do Excel, é extremamente mais simples.

### 3. O MÉTODO DO GRG

Considera-se o problema geral de programação não-linear escrito sob a seguinte forma: maximizar  $f(\mathbf{x})$

sujeito a:  $\mathbf{g}(\mathbf{x}) = \mathbf{0}$

$$\mathbf{a} \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{b}$$

definidos como  $\mathbf{x}, \mathbf{a}, \mathbf{b} \in \mathbb{R}^n$ ,  $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ ,  $\mathbf{g}: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$  e  $P = \{\mathbf{x} \mid \mathbf{a} \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{b}\} \subset \mathbb{R}^n$ .

Esta formulação é geral e pode representar todos os problemas de programação não linear.

Isto é possível, porque as restrições de desigualdade sempre podem ser transformadas em restrições de igualdade pela introdução de variáveis de folga. Além disto, em problemas de minimização, basta que se utilize a relação  $\min\{f(\mathbf{x})\} = -\max\{-f(\mathbf{x})\}$ .

O algoritmo, descrito a seguir, é baseado no Método do Gradiente Reduzido Generalizado e a notação utilizada é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 - Notação utilizada.

Nome	Notação	Básico	Não básico
Variáveis	$\mathbf{x}$	$\mathbf{x}_B$	$\mathbf{x}_N$
Gradiente	$\partial f / \partial \mathbf{x}$	$\partial f / \partial \mathbf{x}_B$	$\partial f / \partial \mathbf{x}_N$
Jacobiano	$\partial \mathbf{g} / \partial \mathbf{x}$	$\partial \mathbf{g} / \partial \mathbf{x}_B$	$\partial \mathbf{g} / \partial \mathbf{x}_N$
Direção	$\mathbf{d}$	$\mathbf{d}_B$	$\mathbf{d}_N$
<p>B: conjunto dos índices das variáveis básicas; <math> B =m</math>  N: conjunto dos índices das variáveis não-básicas; <math> N =n-m</math>  <math>\mathbf{x}^k</math>, <math>\mathbf{d}^k</math> são os valores de <math>\mathbf{x}</math> e <math>\mathbf{d}</math> na k-ésima iteração</p>			

Passo 1	Encontrar uma primeira solução viável $\mathbf{x}^0$ . Considerar $\mathbf{x}^k$ a k-ésima solução encontrada pelo algoritmo.
Passo 2	Calcular o jacobiano $\partial \mathbf{g} / \partial \mathbf{x}^k$ no ponto $\mathbf{x}^k$ e separar as variáveis em $\mathbf{x}_B^k \in \mathbb{R}^m$ e $\mathbf{x}_N^k \in \mathbb{R}^{n-m}$ , de forma a satisfazer as hipóteses de não-degenerescência: H1) $x_i \in P$ , $\forall i \in B$ ; H2) $\partial \mathbf{g} / \partial \mathbf{x}_B^k$ é não-singular.
Passo 3	Calcular a direção de deslocamento das variáveis não-básicas, como segue: a) calcular os multiplicadores de Lagrange $\mathbf{u} = -\left[ \frac{\partial \mathbf{g}}{\partial \mathbf{x}_B^k} \right]^{-1} \left[ \frac{\partial f}{\partial \mathbf{x}_B^k} \right]$ b) calcular o gradiente reduzido $\nabla_N f = \frac{\partial f}{\partial \mathbf{x}_N^k} + \mathbf{u} \left[ \frac{\partial \mathbf{g}}{\partial \mathbf{x}_N^k} \right]$ c) calcular o gradiente reduzido projetado $\forall j \in N, p_j = \begin{cases} 0 & \text{se } \nabla_j f < 0 \text{ e } x_j^k = a_j \\ \nabla_j f & \text{se } \nabla_j f > 0 \text{ e } x_j^k = b_j \\ \nabla_j f & \text{senão} \end{cases}$ Se $\mathbf{p}_N = \mathbf{0}$ , PARAR; senão, fazer $\mathbf{d}_N = \mathbf{p}_N$ .
Passo 4	Considerar a condição de otimalidade $\mathbf{g}' \cdot \mathbf{d} = 0$ e calcular a direção de deslocamento das variáveis básicas. Então, $\frac{\partial \mathbf{g}}{\partial \mathbf{x}_B^k} \mathbf{d}_B + \frac{\partial \mathbf{g}}{\partial \mathbf{x}_N^k} \mathbf{d}_N = \mathbf{0}$ e, a partir da relação, calcular $\mathbf{d}_B$ $\mathbf{d}_B = -\left[ \frac{\partial \mathbf{g}}{\partial \mathbf{x}_B^k} \right]^{-1} \left[ \frac{\partial \mathbf{g}}{\partial \mathbf{x}_N^k} \right] \mathbf{d}_N$
Passo 5	Melhorar a solução, como segue: a) encontrar um valor positivo $\theta$ que maximize $f(\mathbf{x} + \theta \cdot \mathbf{d})$ b) deslocar as variáveis, tanto não-básicas como básicas, segundo as direções calculadas, ou seja, calcular $\tilde{\mathbf{x}}_N = \mathbf{x}_N^k + \theta \cdot \mathbf{d}_N$ e $\tilde{\mathbf{x}}_B = \mathbf{x}_B^k + \theta \cdot \mathbf{d}_B$ , encontrando $\tilde{\mathbf{x}} = (\tilde{\mathbf{x}}_B, \tilde{\mathbf{x}}_N)$ que, em geral, não é viável. Então, c) resolver um sistema de m equações não-lineares a m incógnitas, para modificação de suas variáveis básicas $\mathbf{g}(\tilde{\mathbf{x}}_B, \tilde{\mathbf{x}}_N) = \mathbf{0}$ , aplicando um método pseudo-Newton: • calcular, iterativamente, a partir de $\tilde{\mathbf{x}}_B$ , a solução $\mathbf{x}_B^{i+1} = \tilde{\mathbf{x}}_B^i - \left[ \frac{\partial \mathbf{g}}{\partial \mathbf{x}_B^i} \right]^{-1} \cdot \mathbf{g}(\tilde{\mathbf{x}}_B^i, \tilde{\mathbf{x}}_N)$ • considerar $\tilde{\mathbf{x}}_B$ a solução encontrada e o ponto obtido $\mathbf{x}^{k+1} = (\tilde{\mathbf{x}}_B, \tilde{\mathbf{x}}_N)$ pode ser tal que: • se $\mathbf{x}^{k+1} \in P$ , mas $f(\mathbf{x}^{k+1}) < f(\mathbf{x}^k)$ , tentar encontrar um novo ponto, reduzindo $\theta$ ; • se $\mathbf{x}^{k+1} \in P$ , mas $f(\mathbf{x}^{k+1}) > f(\mathbf{x}^k)$ , tentar encontrar uma solução melhor, aumentando $\theta$ ; • se $\mathbf{x}^{k+1} \notin P$ , efetuar uma troca de base. Retornar ao Passo 2.

## 4. MODELANDO UM EXEMPLO - SOLUÇÕES GRÁFICA E ANALÍTICA

Para exemplificar esta utilização, adotou-se um problema prático de engenharia de estruturas, mas qualquer outro problema de qualquer outra área da engenharia ou de qualquer outra área do conhecimento também seria adequado. Sacoman (1994 apud SACOMAN, 1998) implementou uma versão do GRG para microcomputadores e analisou vários exemplos de Hock e Schittkowski (1981). Incluiu alguns problemas de otimização de projeto e o exemplo que segue tem apenas duas variáveis, para que seja possível a representação gráfica das variáveis de projeto, das restrições, da função objetivo e do espaço de solução do problema.

Considera-se o problema de otimizar um elemento estrutural para construção em série, em forma de viga-caixão, bi-apoiada em consolos, tal como mostrado na Figura 1. O objetivo da otimização é minimizar a quantidade de material a ser consumido no projeto. O material utilizado será o alumínio, cujo peso específico é  $\gamma = 2,7 \text{ tf/m}^3$ .

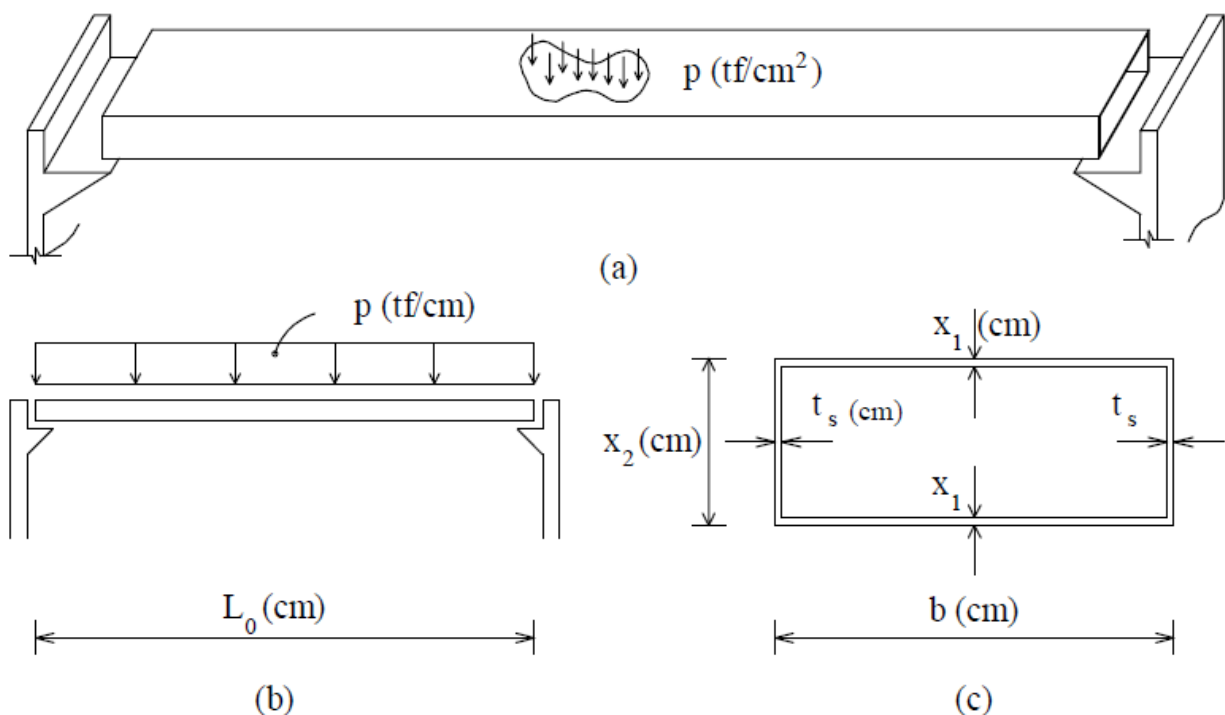


Figura 1 - (a) Estrutura viga-caixão bi-apoiada; (b) Carregamento; (c) Seção Transversal.

São dadas, para o projeto, as seguintes constantes:

- vão da viga  $L_0 = 600 \text{ cm}$
- tensão admissível de cisalhamento  $\bar{\tau} = 0,45 \text{ tf/cm}^2$

- largura da viga  $b = 60 \text{ cm}$
- tensão normal admissível de flexão  $\bar{\sigma} = 0,7 \text{ tf/cm}^2$
- largura da aba  $t_s = 0,5 \text{ cm}$
- módulo de elasticidade do alumínio  $E = 700 \text{ tf/cm}^2$
- deflexão máxima  $\bar{\delta} = L_0/400 \text{ cm}$
- carregamento na viga  $p = 10^{-4} \text{ tf/cm}^2 = 6.10^{-3} \text{ tf/cm}$

Deseja-se projetar a viga, de tal forma que:

- o peso da estrutura seja mínimo;
- as dimensões das variáveis  $x_1$  e  $x_2$  sejam positivas;
- a máxima tensão de cisalhamento não exceda a admissível;
- a máxima tensão normal de flexão não exceda a admissível;
- não ocorra flambagem nas abas;
- a máxima deflexão não exceda a admissível.

De acordo com os itens (a) até (f) listados, o problema pode ser formulado como segue:

- minimizar  $P(x_1, x_2)$ ,
- sujeito a:  $x_1, x_2 \geq 0$ ,
- $\tau \leq \bar{\tau}$ ,
- $\sigma_b \leq \bar{\sigma}$ ,
- $\sigma_b \leq \sigma_k$ ,
- $\delta \leq \bar{\delta}$ .

Inicialmente, é necessário conhecer as expressões de  $\tau$ ,  $\sigma_b$ ,  $\sigma_k$ ,  $\delta$ , onde  $\sigma_k$  é a tensão admissível de flambagem. Os diagramas de Momento Fletor e Força Cortante são utilizados no desenvolvimento destas expressões e são apresentados na Figura 2.

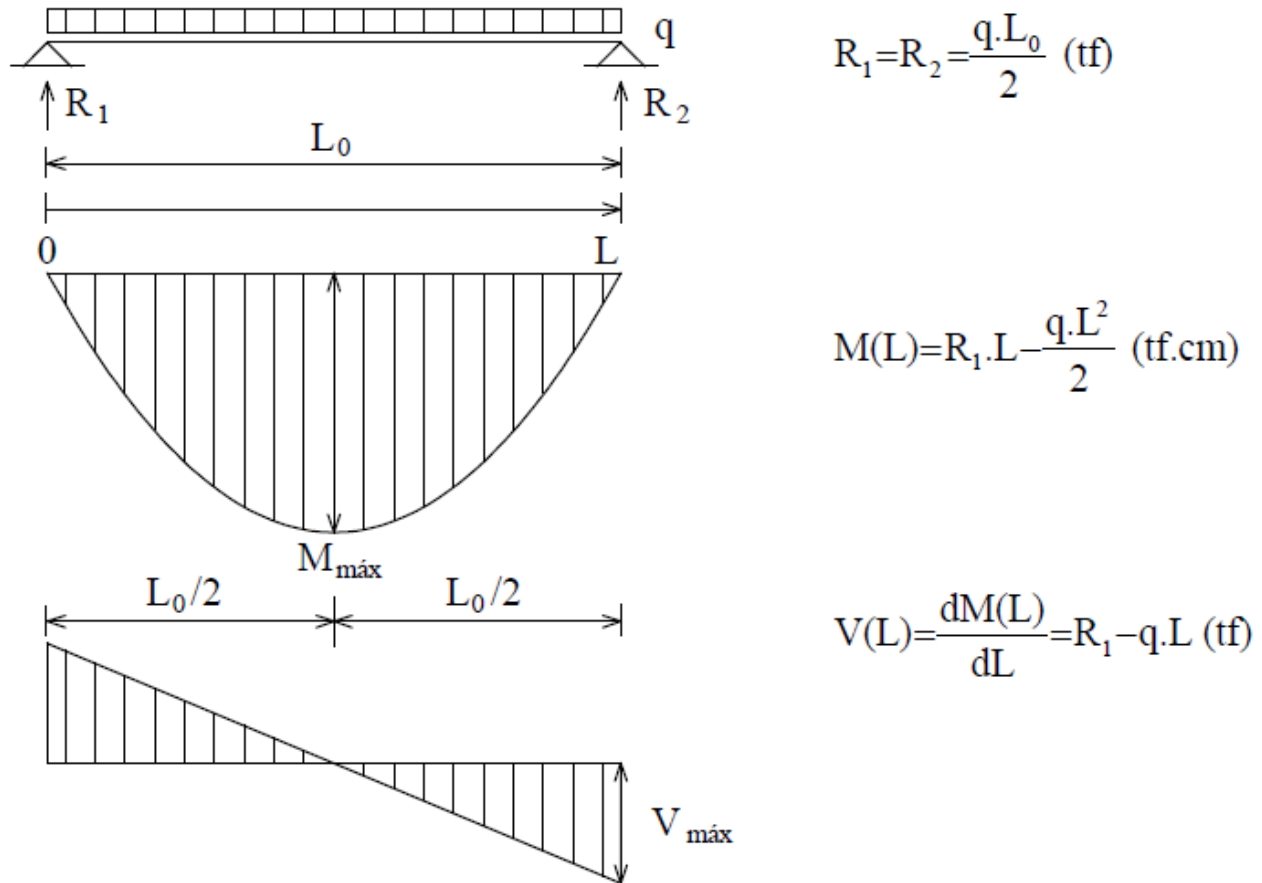


Figura 2 - Esquema estático, equações de reação de apoio, diagramas e equações de momento fletor e força cortante.

As expressões da sobrecarga, da área da seção transversal, da carga permanente e da carga total da viga são:

$$\begin{aligned}
 p &= 6.10^{-3} \text{ tf/cm;} \\
 A &= b \cdot x_2 - [(b - 2 \cdot t_s) \cdot (x_2 - 2 \cdot x_1)] = 118 \cdot x_1 + x_2 \text{ cm}^2 \\
 g &= \gamma \cdot A = 2,7.10^{-6} \cdot (118 \cdot x_1 + x_2) \text{ tf/cm;} \\
 q &= p + g = 6.10^{-3} + 2,7.10^{-6} \cdot (118 \cdot x_1 + x_2) \text{ tf/cm}
 \end{aligned}$$

Seguem as expressões necessárias para a modelagem do problema:

$$\begin{aligned}
 R_1 &= R_2 = 1,8 + 0,81.10^{-3} \cdot (118 \cdot x_1 + x_2) \text{ tf} \\
 M_{\max} &= M\left(\frac{L_0}{2}\right) = R_1 \cdot \frac{L_0}{2} - \frac{q \cdot L_0^2}{8} = 270 + 0,1215 \cdot (118x_1 + x_2) \text{ tf.cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\max} &= V(0) = R_1 = 1,8 + 0,81 \cdot 10^{-3} \cdot (118 \cdot x_1 + x_2) \text{ tf} \\
 \tau_{\max} &= \frac{V_{\max}}{2 \cdot t_s \cdot x_2} = \frac{1,8 + 0,81 \cdot 10^{-3} \cdot (118 \cdot x_1 + x_2)}{x_2} \text{ tf/cm}^2 \\
 \sigma_b &= \frac{M_{\max}}{b \cdot x_1 \cdot x_2} = \frac{4,5 + 2,025 \cdot 10^{-3} \cdot (118 \cdot x_1 + x_2)}{x_1 \cdot x_2} \text{ tf/cm}^2 \\
 \sigma_k &= \frac{\pi^2 \cdot E}{3 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left( \frac{x_1}{b} \right)^2 = 0,703 \cdot x_1^2 \text{ tf/cm}^2 \\
 \frac{\delta}{L_0} &= \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L_0^3}{E \cdot I} = \frac{48214,3 \cdot [6 \cdot 10^{-3} + 2,7 \cdot 10^{-6} \cdot (118 \cdot x_1 + x_2)]}{x_2^3 + 354 \cdot x_1 \cdot x_2^2}
 \end{aligned}$$

Na expressão de  $\sigma_k$ ,  $\nu$  é o coeficiente de Poisson, o qual, para o material utilizado, é 0,3.

Na expressão de  $\delta/L_0$ ,  $I$  é momento de inércia da seção mostrada na Figura 1 (c), e é calculado pela expressão  $I = (b_e \cdot h_e^3 - b_i \cdot h_i^3) / 12$  onde  $b$ ,  $h$ , são, respectivamente, base e altura e os subscritos (e, i), significam, respectivamente, externa e interna. Então,  $I = (x_2^3 + 354 \cdot x_1 \cdot x_2^2) / 12$ , desprezando-se os termos  $x_1^n$  para  $n \geq 2$ .

A função a ser minimizada fornece o peso da estrutura, ou seja,  $P(x_1, x_2) = \gamma \cdot L_0 \cdot A$ . Como  $\gamma$  e  $L_0$  são constantes, basta otimizar a função  $P/(\gamma \cdot L_0) = A$ .

O problema, então, se reduz a:

$$(a) \min 118.x_1 + x_2$$

$$(b) s. a: x_1, x_2 \geq 0$$

$$(c) \frac{1,8+0,81.10^{-3} \cdot (118.x_1+x_2)}{x_2} \leq 0,45$$

$$(d) \frac{4,5+2,025.10^{-3} \cdot (118.x_1+x_2)}{x_1.x_2} \leq 0,7$$

$$(e) \frac{4,5+2,025.10^{-3} \cdot (118.x_1+x_2)}{x_1.x_2} \leq 0,703.x_1^2$$

$$(f) \frac{48214,3 \cdot [6.10^{-3}+2,7.10^{-6} \cdot (118.x_1+x_2)] \cdot L_0}{x_2^3 + 354.x_1.x_2^2} \leq \frac{L_0}{400}$$

Ou seja:

$$\min 118.x_1 + x_2$$

$$s. a: g_1(\mathbf{x}) = 0,45x_2 - 1,8 - 0,81.10^{-3} \cdot (118.x_1+x_2) \geq 0$$

$$g_2(\mathbf{x}) = 0,7.x_1.x_2 - 4,5 - 2,025.10^{-3} \cdot (118.x_1+x_2) \geq 0$$

$$g_3(\mathbf{x}) = 0,703.x_1^3.x_2 - 4,5 - 2,025.10^{-3} \cdot (118.x_1+x_2) \geq 0$$

$$g_4(\mathbf{x}) = x_2^3 + 354.x_1.x_2^2 - 19285714,29 \cdot [6.10^{-3}+2,7.10^{-6} \cdot (118.x_1+x_2)] \geq 0$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

A Figura 3 mostra o espaço de solução do problema e o projeto ótimo  $\mathbf{x}^* = (x_1^*, x_2^*)$ .

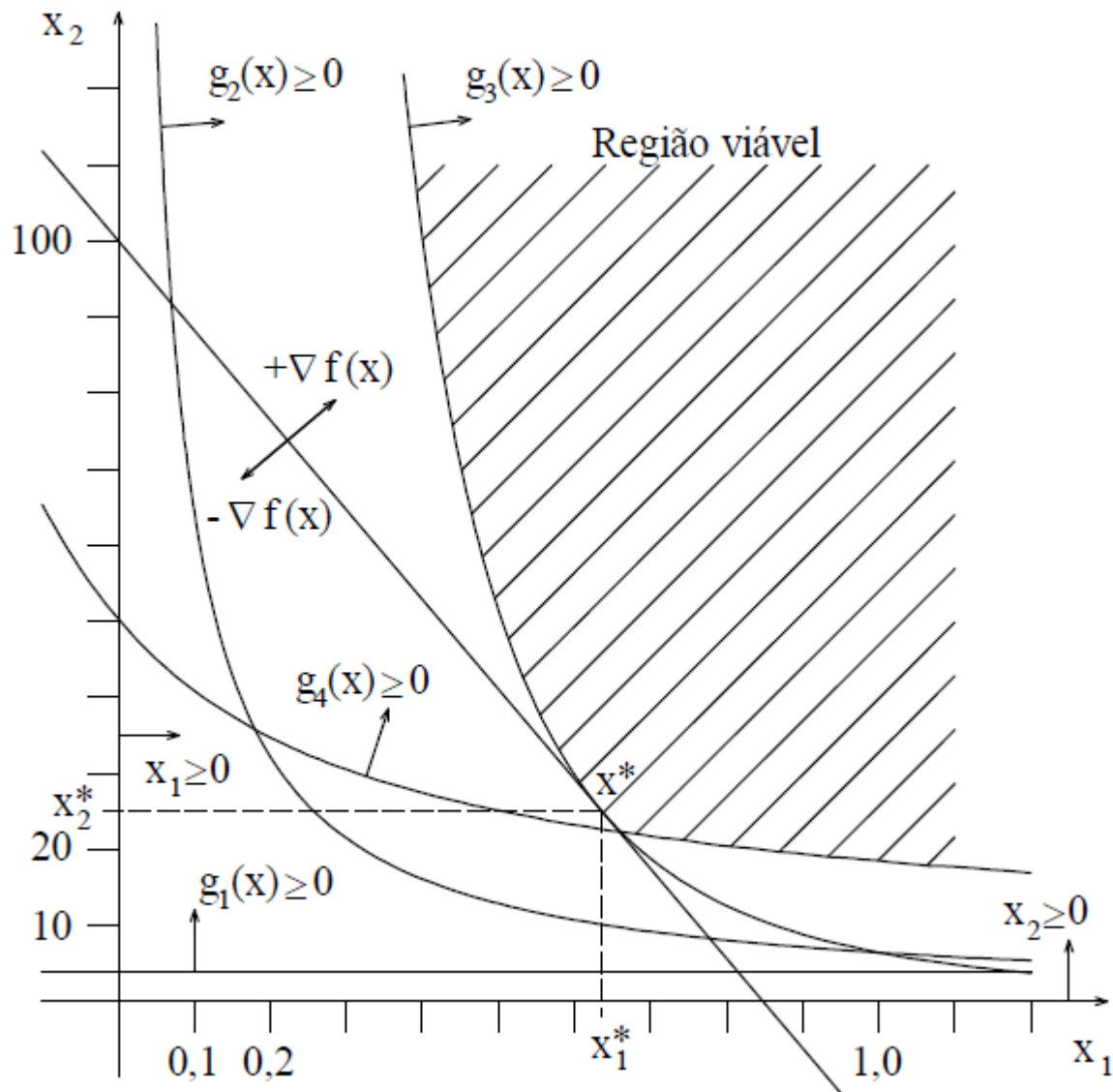


Figura 3 - Espaço de projeto, função objetivo e solução ótima do problema da viga-caixão.

O ótimo é o ponto  $x^*$  que é formado pela tangência de  $f$  com  $g_3$ . Isolando  $x_2$  nas expressões de  $f$  e  $g_3$ , derivando  $x_2$  com relação a  $x_1$ , para as duas expressões, e igualando-as, tem-se:

- em  $f(x) \rightarrow x_2 = f(x) - 118 \cdot x_1 \rightarrow \frac{dx_2}{dx_1} = -118$
- em  $g_3(x) \rightarrow x_2 = \frac{4,5 + 0,23895 \cdot x_1}{0,703 \cdot x_1^3 - 2,025 \cdot 10^{-3}} \rightarrow \frac{dx_2}{dx_1} = \frac{-0,3359 \cdot x_1^3 - 9,490 \cdot x_1^2 - 0,4839 \cdot 10^{-3}}{0,4942 \cdot x_1^6 - 2,847 \cdot 10^{-3} \cdot x_1^3 + 4,101 \cdot 10^{-6}}$   
 $\therefore -58,31 \cdot x_1^6 + 0,6719 \cdot x_1^3 + 9,490 \cdot x_1^2 = 0 \rightarrow x_1 = 0,6423; x_2 = 25,262; f(x) = 101,048$

A solução ótima é dada por  $x_1^* = 0,6423$  cm;  $x_2^* = 25,262$  cm;  $f(x^*) = 101,048$  cm<sup>2</sup>.



Na prática, pode-se adotar  $x_1 = 0,64 \text{ cm}$ ,  $x_2 = 25,6 \text{ cm}$ , obtendo-se uma área de 101,12  $\text{cm}^2$ , ou  $x_1 = 0,65 \text{ cm}$ ,  $x_2 = 24,4 \text{ cm}$ , obtendo-se uma área de 101,1  $\text{cm}^2$ .

Um projetista experiente poderia selecionar  $x_1 = 1 \text{ cm}$  e  $x_2 = 20 \text{ cm}$ . Neste caso, todas as equações seriam satisfeitas e a área seria 138  $\text{cm}^2$ . Assim considerando, a solução por otimização provocou uma economia de quase 27%. Além disto, explicitar todas as equações, ao modelar o problema de otimização, reduz a possibilidade de erros.

## 5. MODELANDO NO EXCEL - SOLUÇÃO NUMÉRICA COM GRG E SOLVER

Considera-se que o Office ou apenas o Excel tenha sido instalado com a opção de incluir o Solver. Dependendo da versão, é necessário que se explicita esta opção. Considera-se que o usuário tenha incluído nas configurações a opção de apresentar o menu ou o botão correspondente à utilização do Solver.

A seguir, é tudo muito simples. Basta que se escreva em células do Excel quais são as variáveis, quais são as restrições e que se faça a correspondência destas células com as informações requeridas pelo Solver.

Para o problema apresentado na seção anterior, basta que se escreva as informações como apresentadas na Figura 4.

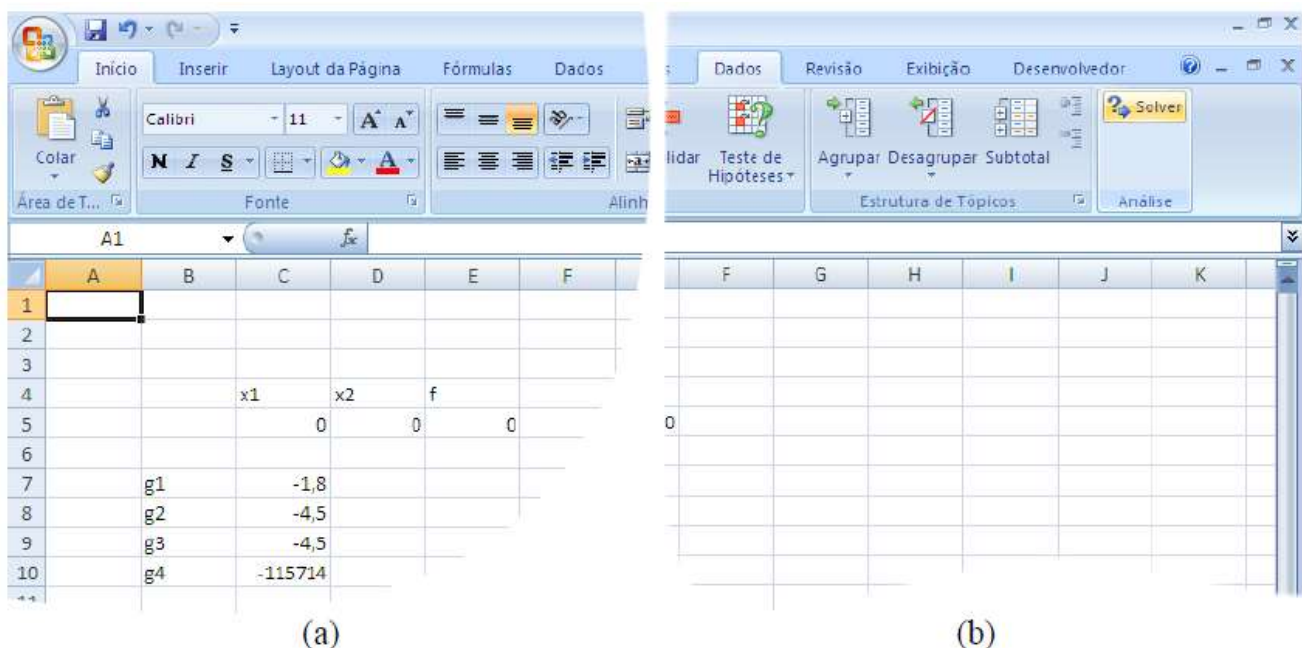


Figura 4 - (a) Entrada de dados do problema; (b) Guia Dados, com o botão Solver.

Digitam-se os nomes das variáveis, da função objetivo e das restrições, que, no exemplo, são  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $f$ ,  $g_1$ ,  $g_2$ ,  $g_3$  e  $g_4$ . Nas células adjacentes à função objetivo e às restrições, digitam-se suas equações, explicitadas a seguir, sabendo que  $x_1=C5$  e  $x_2=D5$ .

Quadro 2 - Equações lançadas nas células.

Célula	Equação
E5	=118*C5+D5
C7	=0,45*D5-1,8-0,00081*(118*C5+D5)
C8	=0,7*C5*D5-4,5-0,002025*(118*C5+D5)
C9	=0,703*C5^3*D5-4,5-0,002025*(118*C5+D5)
C10	=D5^3+354*C5*D5^2-19285714,29*(0,006+0,0000027*(118*C5+D5))

Para os dados iniciais  $x_1=0$  e  $x_2=0$ , obtém-se um ponto não viável, como pode ser visto através dos valores das restrições. Podem-se ensaiar novos pontos iniciais e os valores de  $f(x)$  e de  $g_i(x)$  serão alterados.

Após a introdução dos dados, invoca-se o Solver, pressionando o botão correspondente.

Com o Solver iniciado, seleciona-se a célula da função objetivo e o tipo de otimização. A seguir, definem-se as células das variáveis. Estas operações são apresentadas nas Figuras 5 e 6.

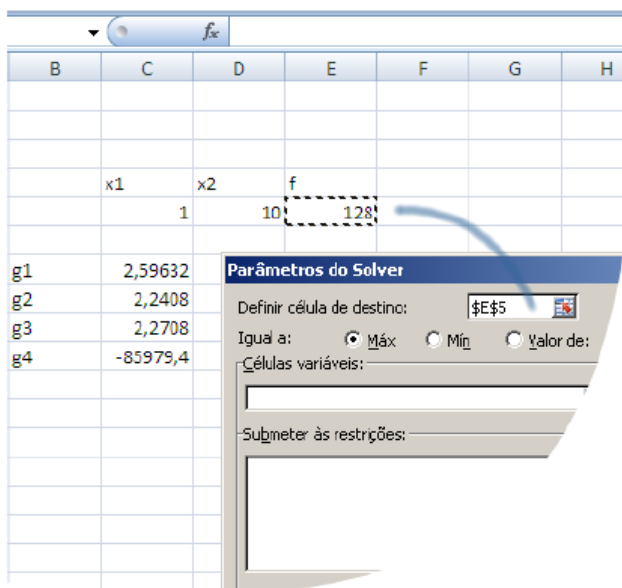


Figura 5 - Associando a função objetivo.

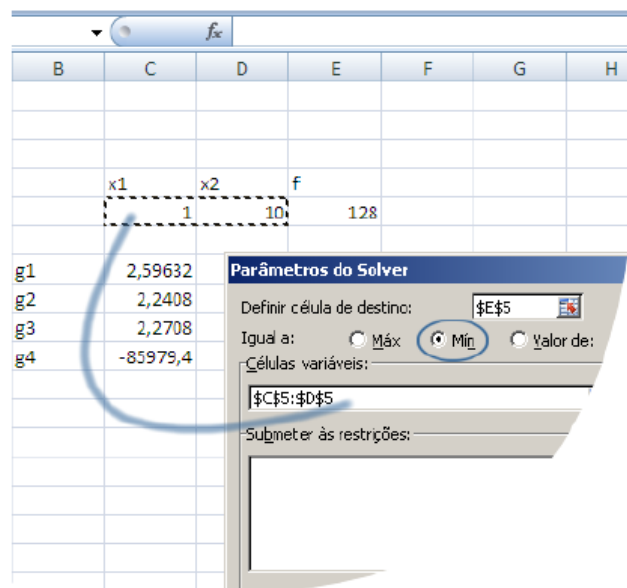


Figura 6 - Associando variáveis  $x_i$ .

Para finalizar a introdução dos dados, utiliza-se o botão para adicionar restrições e, para cada restrição, define-se a célula da equação, o tipo de desigualdade e o valor limite para a restrição. A Figura 7

apresenta esta operação para a restrição g1. Deve-se, também, repetir esta operação para cada variável, definindo-se seus limites.

O procedimento está completo e basta pressionar o botão Resolver.

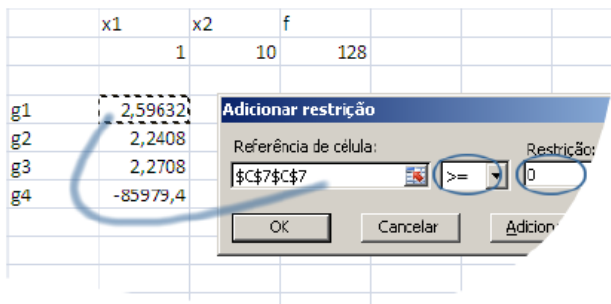


Figura 7 - Associando restrições g1.

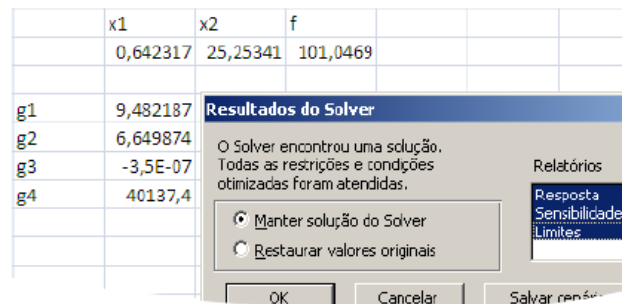


Figura 8 - Solução dada pelo Solver.

Após a solução apresentada, podem-se escolher quais relatórios devem ser gerados e o Solver criará novas planilhas com informações detalhadas. A Figura 8 apresenta a solução e as opções de relatórios.

## 6. INTERPRETANDO A SOLUÇÃO

O Relatório de Resposta apresenta os mesmos dados apresentados na planilha antes e depois da otimização, ou seja, valores iniciais e finais de **x**, **f** e **g**. Pode-se, com isto, verificar se a solução inicial era viável ou não e verificar quais são as restrições ativas.

O Relatório de Sensibilidade apresenta o valor do gradiente reduzido para cada variável e os multiplicadores de Lagrange para cada restrição. O gradiente reduzido deve ser nulo se não houver direção para melhorar o valor da função objetivo. Os multiplicadores de Lagrange devem ser nulos se as restrições foram todas atendidas. No caso do exemplo, com a tolerância utilizada (padrão do Excel), a restrição  $g3 = -3,5 \cdot 10^{-7}$  e  $u3 = 5,4292$ . Caso queira, o usuário poderá modificar parâmetros de tolerância.

O Relatório de Limites apresenta valores de limites inferiores e superiores das variáveis e da função objetivo ao longo da busca do ótimo.

## 7. CONCLUSÕES

Décadas se passaram para que um método tão eficiente como o Método do GRG pudesse ser utilizado de forma tão simples como esta que é possível utilizando o Solver através do Excel. E cabe a lembrança

de que o GRG é considerado, até a presente data, como o mais eficiente para solução geral de problemas de otimização não-linear.

O exemplo, com apenas duas variáveis, serve para demonstrar a utilização, de forma simples, de um procedimento que é eficiente e que, geralmente, é considerado difícil ou até impraticável.

Da mesma forma como o problema-exemplo foi modelado, diferentes problemas de diversas áreas de aplicação podem ser modelados e resolvidos através de técnicas de otimização não-linear.

Problemas não tão simples e que tenham várias variáveis devem ser resolvidos com programas que resolvam problemas de programação não-linear e que sejam implementados a partir de algoritmos como o descrito na Seção 3. A dupla de programas Solver-Excel faz exatamente isto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Históricas: criação do Método GRG, algoritmos GRGA e GRG2 e criação do Solver ABADIE, J. Méthode du Gradient Réduit Généralisé: Le Code GRGA. Paris: Électricité de France, 1975.

CARPENTIER, J.; ABADIE, J. Généralisation de la Méthode du Gradient Réduit de Wolfe au cas des Contraintes Non Linéaires. IV International Conference on Operational Research. Anais... In: PROCEEDINGS OF ... OPERATIONS RESEARCH SOCIETY OF AMERICA. New York: D. B. Herts and J. Melese, 1966.

HOCK, W.; SCHITTKOWSKI, K. Test Examples for Nonlinear Programming Codes. 1. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1981. 187 p.

LASDON, L. S.; FOX, R. L.; RATNER, M. W. Nonlinear Optimization using the Generalized Reduced Gradient Method. Revue Française d'Automatique, Informatique et Recherche Opérationnelle, n. 3, p. 73-104, 1974.

LASDON, L. S.; WARREN, A. D.; RATNER, M. W. GRG2 Users' Guide. University of Texas at Austin, 1980.

ROSEN, J. B. The Gradient Projection Method for Nonlinear Programming. Part I: Linear

Constraints. Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, v. 8, n. 1, p.

181-217, 1960.

ROSEN, J. B. The Gradient Projection Method for Nonlinear Programming. Part II: Nonlinear Constraints. Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, v. SCHITTKOWSKI, K. More Test Examples for Nonlinear Programming Codes. 1. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1987. 265 p.

WARREN, A. D.; LASDON, L. S. The Status of Nonlinear Programming Software. Operations Research, v. 27, n. 3, p. 431-56, 1979.

WOLFE, P. The Reduced Gradient Method. In: Recent Advances in Mathematical Programming. New York: R. L. Graves and P. Wolfe, 1963. p. 67-86.

Pesquisa complementar, criação de exemplo e utilização do Solver BALDICK, R. Applied optimization: formulation and algorithms for engineering systems. 1. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. 792 p.

BELEGUNDU, A. D.; CHANDRUPATLA, T. R. Optimization concepts and applications in engineering. 2. ed. New York: Cambridge University Press, 2011. 475 p.

FRONTLINE SYSTEMS INC. Optimization Tutorial for Solver Users. Disponível em: <[www.solver.com/optimization.htm](http://www.solver.com/optimization.htm)>. Acesso em: 9 abr. 2012.

GALLAGHER, R. H.; ZIENKIEWICZ, O. C. Optimum Structural Design: Theory and Applications. 2. ed. Chichester: John Willey & Sons, 1977. 372 p.

KIRSCH, U. Optimum Structural Design: Concepts, Methods and Applications. 1. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1981. 455 p.

MICROSOFT CORPORATION. Microsoft Excel Solver. Disponível em:

<office.microsoft.com>. Acesso em: 9 abr. 2012.

NOCEDAL, J.; WRIGHT, S. J. Numerical optimization. 2. ed. New York: Springer, 2006. 686 p.

RAO, S. S. Engineering optimization: Theory and Practice. 4. ed. New York: Wiley, 2009. 813 p.

RUSZCZYNSKI, A. Nonlinear optimization. 1. ed. Princeton: Princeton University Press, 2006. 463 p.

SACOMAN, M. A. R. Otimização de Projetos. Energia na Agricultura, v. 13, p. 66-76, 1998.

# Capítulo 6



10.37423/220105261

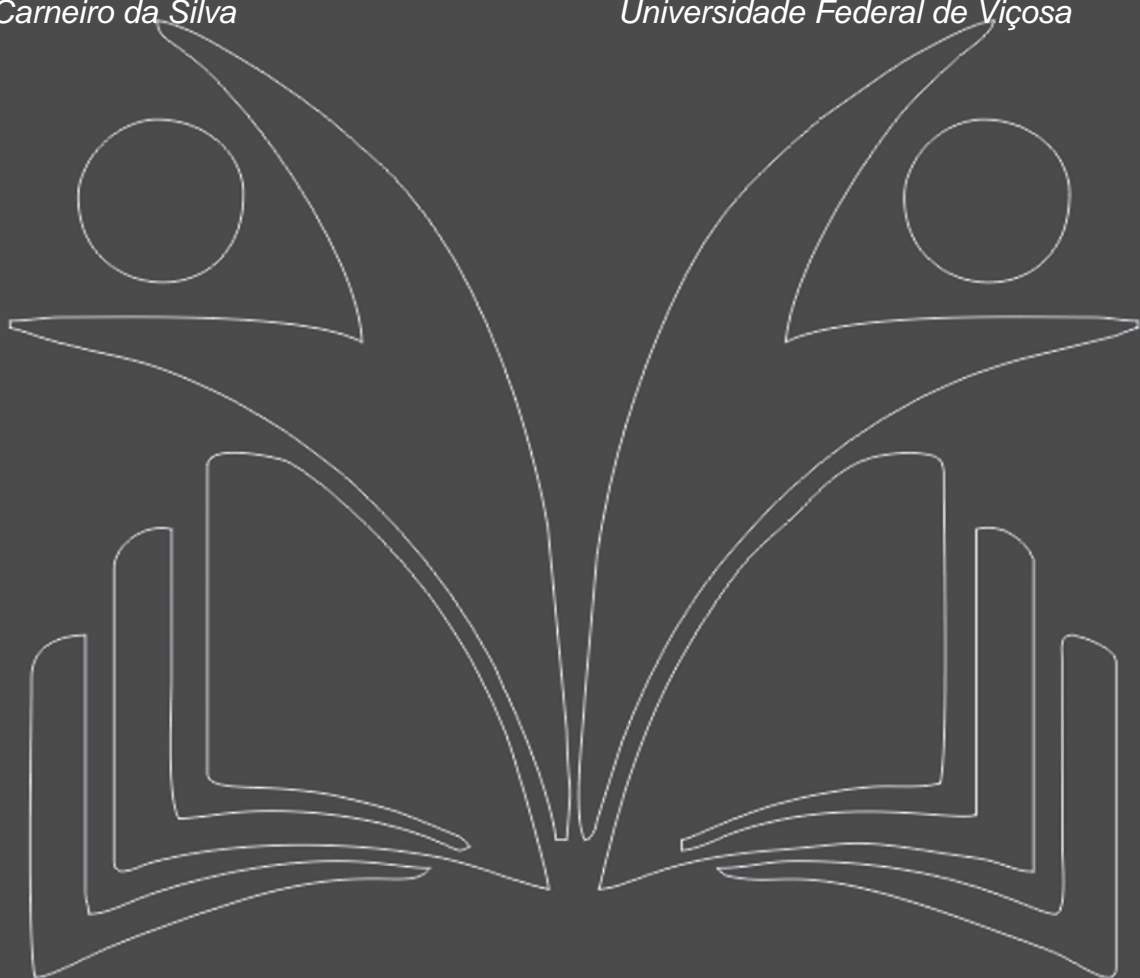
## DOMÍNIOS DE DEFORMAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO: UMA NOVA ABORDAGEM PARA O ENSINO

*Kléos Magalhães Lenz César Júnior*

*Universidade Federal de Viçosa*

*Reginaldo Carneiro da Silva*

*Universidade Federal de Viçosa*



**Resumo:** Apesar de consolidados por várias décadas, algumas das hipóteses básicas para o dimensionamento de estruturas em concreto armado não são satisfatoriamente explorados em seus conceitos o origem por parte da norma brasileira NBR 6118:2014, e nem mesmo pela literatura tradicional do assunto. Ilustrações, que deveriam esclarecer o entendimento de fenômenos, muitas vezes são simplistas e fora de contexto. Valores constantes são atribuídos por convenção sem uma adequada argumentação técnica. Além disso, as abordagens típicas (muito comumente advinda das definições da norma brasileira) tendem ao cálculo simplificado, situação em que o engenheiro não dispunha de recursos computacionais e ferramentas automáticas como as que se dispõe hoje. Este trabalho tem o objetivo de apresentar uma nova abordagem para o domínio de deformações. Procurou-se resgatar os fundamentos para os valores das deformações limites e melhorar as ilustrações relativas a cada um dos 5 domínios (incluindo diagramas-exemplo de deformações para uma dada posição da linha neutra). Além disso, buscou-se uma abordagem algorítmica, evitando-se a inclusão de variáveis adimensionais. As formulações encontradas para as deformações que interessam ao dimensionamento de seções transversais em concreto armado estão resumidas no final do artigo.

**Palavras-chave:** domínio de deformações, linha neutra, concreto armado.



## 1 INTRODUÇÃO

O dimensionamento de elementos estruturais em concreto armado pressupõe uma série de hipóteses básicas e valores constantes prefixados (confirmados por ensaios laboratoriais ou pela convenção empírica). Muitas dessas pressuposições permanecem inalteradas ao longo do tempo, o que não significa terem sido suficientemente exploradas e compreendidas.

As sete hipóteses básicas que norteiam o dimensionamento de elementos lineares sujeitos às solicitações normais no estado limite último (ELU), conforme numeradas no item 17.2.2 da NBR 6118:2014, não são abordadas em profundidade (especialmente em seus conceitos e origens), nem mesmo são bem ilustradas. A literatura corrente também não explora de forma significativa e didática os conceitos e fundamentos considerados base para o dimensionamento em concreto armado.

No caso específico dos domínios de deformação (ilustrados e brevemente descritos na hipótese g da norma brasileira), constata-se que o diagrama não é suficientemente detalhado, de forma a proporcionar um contexto didaticamente necessário à compreensão das etapas futuras do dimensionamento. Na literatura corrente (bem como na prática de ensino), tem sido dada muito pouca importância ao diagrama dos domínios de deformação. Os valores constantes nele mostrados não são, em sua grande parte, bem esclarecidos. Entende-se que a seqüência da abordagem atualmente praticada, bem como o conjunto de ilustrações e suas conseqüentes interpretações não são plenamente adequadas ao ensino de concreto armado.

Da mesma forma, o desenvolvimento das equações das deformações nas armaduras e na região comprimida do concreto passa por um raciocínio que parece reportar à época em que o cálculo automático era de difícil acesso. Naquele contexto, as simplificações do cálculo eram bem vindas. Hoje, no entanto, o aluno vem sendo cada vez mais estimulado a usar recursos eletrônicos para automatizar processos. O uso de calculadoras programáveis e planilhas eletrônicas instaladas em computadores portáteis são de uso corrente nas escolas, e imprescindíveis nos escritórios de engenharia. Enquanto de um lado o excesso de automação pode tirar do aluno a necessária capacidade de análise crítica de resultados, do outro a não utilização das ferramentas disponíveis pode provocar o mesmo resultado, e com fatores agravantes.

## 2 DEFORMAÇÕES CONVENCIONAIS ÚLTIMAS NO ELU

Estudos mostram que o esgotamento da capacidade resistente de uma peça estrutural em concreto armado sujeita à flexão normal composta no ELU se dá, tradicionalmente, pelo rompimento da região

comprimida de concreto, quer a armadura tenha escoado ou não. No entanto, de acordo com FUSCO (1981), sentiu-se a necessidade de se limitar a deformação da armadura tracionada em virtude do desconforto provocado por fissuras excessivamente grandes. Portanto, teoricamente, passou-se a assumir que a capacidade resistente de uma seção se dá:

- pela ruptura da região comprimida de concreto e/ou
- pela deformação plástica excessiva da armadura tracionada.

É muito difícil, no entanto, identificar os parâmetros que levam a obtenção dos valores relativos à resistência mecânica da peça de concreto. Sendo assim, convencionou-se admitir que o concreto se rompe sob compressão quando este atinge um valor de deformação a partir do qual o risco de ruptura é significativo. Este valor vem sendo justificado e confirmado experimentalmente. Portanto, considera-se um ELU convencional (conhecido como ELU de ruptura) e um estado limite de deformação plástica excessiva.

## 2.1 O CONCRETO NA REGIÃO COMPRIMIDA

Sussekind (1985) mostra que nos ensaios com carregamentos de curta duração realizados por E. Grasser, considerando as mais diversas resistências características à compressão do concreto, a uma taxa crescente e constante de deformação, a tensão resistente máxima ocorre quando o concreto atinge uma deformação específica bem próxima a 2‰, enquanto que na ruptura (propriamente dita), a deformação específica atinge o valor médio de 3,5‰, podendo variar significativamente.

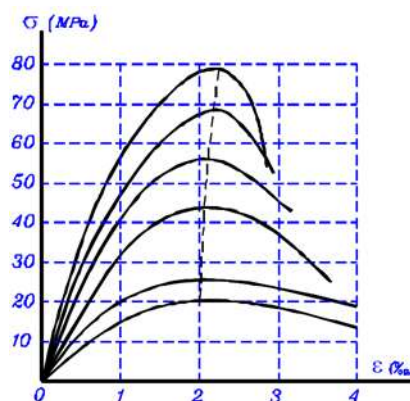


Figura 1. Diagrama tensão x deformação de concretos de várias resistências à compressão

A Figura 1 ilustra o diagrama tensão x deformação ( $\sigma \times \varepsilon$ ) típico proveniente dos ensaios realizados com corpos de prova de concretos com as mais diferentes resistências características. Note que a tensão resistente máxima ocorre (com bastante regularidade) quando a deformação específica atinge o valor 2‰. A deformação residual (na qual a ruptura de fato ocorre) é função da resistência

característica do concreto, podendo variar significativamente. Quanto maior a resistência do concreto, menor será a deformação de ruptura última da seção. O valor convencional 3,5‰ é, portanto, um valor médio válido para concretos de resistências relativamente baixas. Concretos de alta resistência podem romper-se ao ser atingido uma deformação específica menor que o convencional.

A NBR 8953:1992 classifica os concretos para fins estruturais em categorias do grupo I aqueles que vão da resistência característica à compressão igual a 20MPa (C20) a 50MPa (C50). Embora a NBR 6118:1980 não faça alusão a qualquer restrição sobre limite de resistência, a NBR 6118:2014 (no item 1.2) deixa claro que "... aplica-se às estruturas de concreto... do grupo I de resistência (C20 a C50) E DO GRUPO II DE RESISTÊNCIA (C55 A C90, conforme classificação da NBR 8953".

Conclui-se assim, que no ELU convencional, a deformação de ruptura à compressão ( $\epsilon_{cu}$ ) do concreto varia entre 2‰ (na compressão uniforme) e 3,5‰ (na flexão pura), dependendo da posição efetiva da linha neutra, considerando toda a seção transversal comprimida. Seja qual for a resistência do concreto à compressão, sua deformação de ruptura é dita não ultrapassar tais valores.

## O AÇO TRACIONADO

Da mesma forma, o alongamento último ( $\epsilon_{su}$ ) tolerado pela armadura mais tracionada é de 10‰. Na prática, porém, segundo Sussekind (1985), a deformação de ruptura dos aços para concreto armado é bem maior, chegando a valores da ordem de 70‰ (CA 60). O valor  $\epsilon_{su}=10‰$  é arbitrado com a consideração de que, desprezando-se o alongamento do concreto tracionado, essa deformação corresponde a uma fissuração de 10‰, ou seja, a fissuras de 1mm de abertura para cada 10cm de comprimento da peça. No que diz respeito à ruptura por compressão, limita-se a deformação máxima do aço ao mesmo valor que a deformação convencional para o concreto, uma vez que os dois materiais trabalham solidariamente.

No ELU convencional, o concreto se rompe quando atinge a deformação  $\epsilon_{cu}$ , enquanto que a armadura não necessariamente se rompe quando alongada de  $\epsilon_{su}$ . O alongamento excessivo da armadura tracionada acarreta uma fissuração exagerada na superfície do concreto, levando ao ELU sem que tenha ocorrido, necessariamente, a ruptura do concreto na região comprimida. Isso implica que  $\epsilon_{su}$  é um limite de deformação para evitar excessos na fissuração do concreto.

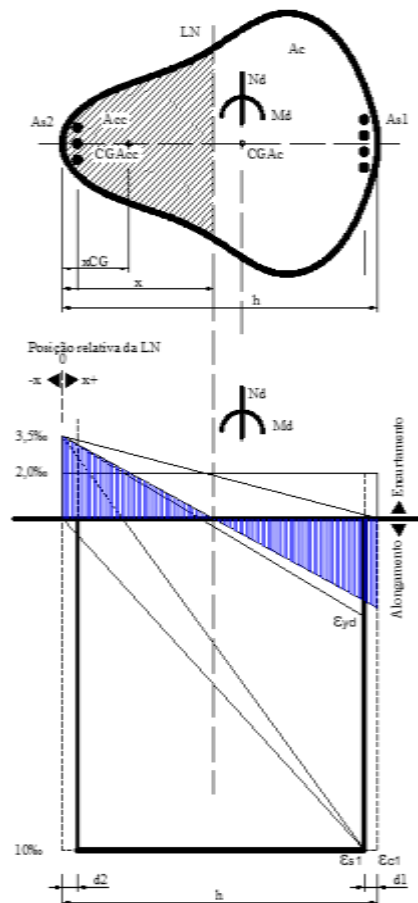


Figura 2. Domínio de deformações de uma seção transversal sujeita à flexão normal composta (adaptado da NBR 6118:2014).

### 3 OS DOMÍNIOS DE DEFORMAÇÃO

Para ser alcançado o ELU, a deformação de ruptura do concreto  $\epsilon_{cu}$  ou a deformação plástica excessiva  $\epsilon_{su}$  deve ser atingida. Admitindo-se a hipótese básica da manutenção da forma plana da seção transversal até o ELU, as deformações normais são, em cada ponto da seção transversal, proporcionais à sua distância à linha neutra, inclusive quando a peça atinge o ELU.

A NBR 6118:2014, item 17.2.2, Figura 17.1 mostra o diagrama de deformação da seção transversal pouco antes de sua ruptura. Nela estão mostrados os casos de solicitação possíveis para cada um dos domínios de deformação, variando-se a posição da linha neutra de  $-\infty$  a  $+\infty$ , ou seja, variando-se as solicitações da tração uniforme à compressão uniforme. A Figura 2 ilustra uma seção transversal qualquer sujeita aos esforços  $N_d$  e  $M_d$  aplicados no seu centro de gravidade (CGAc). Em virtude do carregamento imposto, a região comprimida está (por exemplo) limitada pela área hachurada (de comprimento  $x$ ) da seção transversal, supondo-se a linha neutra (LN) passando no ponto indicado. Imediatamente abaixo da seção transversal, vê-se uma elevação que corresponde ao diagrama de

deformações no ELU convencional (uma adaptação da Figura 17.1 da norma) para a linha neutra indicada passando à distância  $x$  da face mais comprimida da seção transversal.

Admitindo-se que a linha neutra pode assumir qualquer posição entre  $-\infty$  e  $+\infty$ , surgem várias situações específicas que podem caracterizar as deformações (convencionais) últimas de cálculo. São os chamados domínios de deformação.

### CARACTERIZAÇÃO DO DOMÍNIO 1

Particularidades (Figura 3):

- A linha neutra encontra-se a uma distância  $x$  fora da seção transversal ( $-\infty < x \leq 0$ ) e, conseqüentemente, a seção está totalmente tracionada. Situações típicas: tração não uniforme, sem compressão ( $-\infty < x \leq 0$ ), e tração uniforme ( $x = -\infty$ ).
- A ruína da peça ocorre pela deformação plástica excessiva da armadura mais tracionada à  $\varepsilon_{s1} = -10\text{‰}$ .  $\varepsilon_{s2}$  varia de um pouco menos que 0 a  $-10\text{‰}$ .
- A seção resistente é composta pelas armaduras, não havendo participação do concreto, o qual é considerado totalmente fissurado em toda a seção.

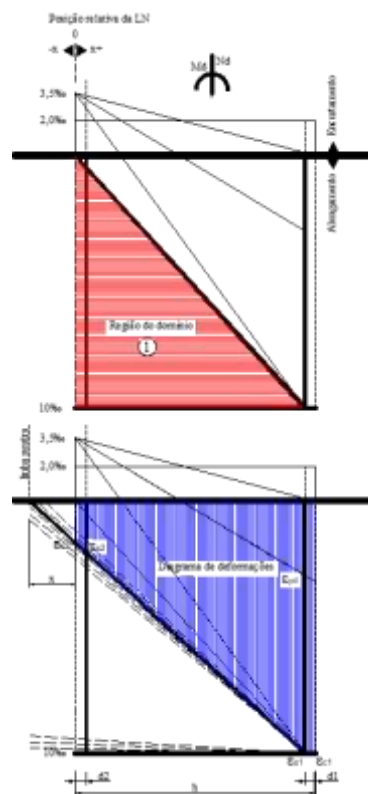


Figura 3. Representação do domínio 1 de deformações e diagrama de deformações.

Cálculo das deformações em função da posição da linha neutra: por semelhança de triângulos, e conhecidas a altura da seção transversal e a posição das armaduras:

$$\begin{aligned}\frac{10}{h-d_1-x} &= \frac{\varepsilon_{c2}}{x} & \bullet \varepsilon_{c2} &= \frac{10x}{h-d_1-x} \\ \frac{10}{h-d_1-x} &= \frac{\varepsilon_{s2}}{x-d_2} & \bullet \varepsilon_{s2} &= \frac{10(x-d_2)}{h-d_1-x} \\ E, \text{ convencionalmente, } & & \bullet \varepsilon_{c1} &= -10 \\ & & \bullet \varepsilon_{s1} &= -10\end{aligned}$$

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DO DOMÍNIO 2

Particularidades (Figura 4):

- A linha neutra encontra-se dentro da seção transversal,  $x$  variando entre 0 e  $x_{\text{lim}(2-3)}$  (limite entre os domínios 2 e 3). Parte da seção está comprimida e a outra parte, tracionada. Situações típicas: flexão simples ou composta sem ruptura à compressão do concreto.
- A ruína da peça ocorre pela deformação plástica excessiva da armadura tracionada à  $\varepsilon_{s1} = -2\%$ , podendo ocorrer concomitante com a ruína do concreto à  $\varepsilon_{c2} = 3,5\%$ , se  $x = x_{\text{lim}(2-3)}$
- A seção resistente é composta pelas armaduras, havendo uma pequena participação do concreto na região comprimida.

Cálculo das deformações em função da posição da linha neutra: por semelhança de triângulos, determina-se a posição da linha neutra no limite entre os domínios 2 e 3 ( $x_{\text{lim}(2-3)}$ ):

$$\begin{aligned}\frac{3,5}{x_{\text{lim}(2-3)}} &= \frac{10+3,5}{h-d_1} & \bullet x_{\text{lim}(2-3)} &= \frac{3,5}{13,5}(h-d_1)\end{aligned}$$

Também por semelhança de triângulos, conhecidas a altura da seção transversal e a posição relativa das armaduras:

$$\begin{aligned}\frac{10}{h-d_1-x} &= \frac{\varepsilon_{c2}}{x} & \bullet \varepsilon_{c2} &= \frac{10x}{h-d_1-x} \\ \frac{10}{h-d_1-x} &= \frac{\varepsilon_{s2}}{x-d_2} & \bullet \varepsilon_{s2} &= \frac{10(x-d_2)}{h-d_1-x}\end{aligned}$$

E, convencionalmente,  $\bullet \varepsilon_{s1} = -10$ ,  $\bullet \varepsilon_{c1} = -10$

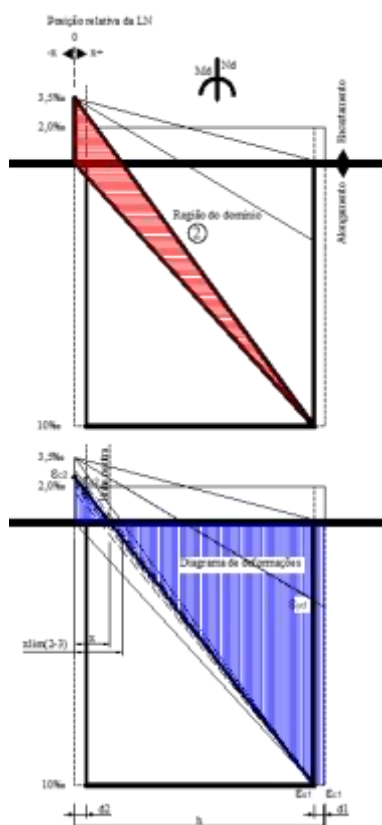


Figura 4. Representação do domínio 2 de deformações e diagrama de deformações.

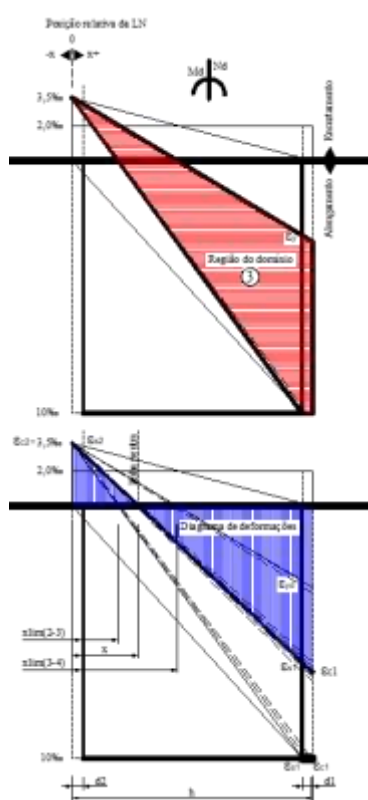


Figura 5. Representação do domínio 3 de deformações e diagrama de deformações.

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DO DOMÍNIO 3

Características (Figura 5):

- A linha neutra encontra-se dentro da seção transversal,  $x$  variando entre  $x_{\text{lim}(2-3)}$  e  $x_{\text{lim}(3-4)}$  (limite entre os domínios 3 e 4). Parte da seção está comprimida e a outra parte, tracionada. Situações típicas: flexão simples (seção subarmada) ou composta com ruptura à compressão do concreto e aço em escoamento. Ruptura dúctil, com a peça deformando-se consideravelmente nas proximidades da ruptura.
- A ruína da peça ocorre pela ruptura da região comprimida do concreto (à deformação  $\varepsilon_{c2}=3,5\%$ ) e pelo escoamento da armadura tracionada do aço (à deformação mínima de  $-\varepsilon_{yd}$ ).
- A seção resistente é composta pelas armaduras em escoamento, uma vez que o concreto ruiu à deformação  $\varepsilon_{c2}=3,5\%$ .

Cálculo das deformações em função da posição da linha neutra: por semelhança de triângulos, determina-se a posição da linha neutra no limite entre os domínios 3 e 4 ( $x_{\text{lim}(3-4)}$ ):

$$\frac{3,5 + \varepsilon_{yd}}{h - d_1} = \frac{3,5}{x_{\text{lim}(3-4)}} \quad \bullet \quad x_{\text{lim}(3-4)} = \frac{3,5}{3,5 + \varepsilon_{yd}} (h - d_1)$$

Convencionalmente,  $\bullet \varepsilon_{c2} = 3,5$

E, por semelhança de triângulos,

$$\begin{aligned} \frac{3,5 - \varepsilon_{s2}}{d_2} &= \frac{3,5}{x} & \bullet \varepsilon_{s2} &= 3,5 - 3,5 \frac{d_2}{x} \\ \frac{3,5 - \varepsilon_{s1}}{h - d_1} &= \frac{3,5}{x} & \bullet \varepsilon_{s1} &= 3,5 - 3,5 \frac{h - d_1}{x} \\ \frac{3,5 - \varepsilon_{c1}}{h} &= \frac{3,5}{x} & \bullet \varepsilon_{c1} &= 3,5 - 3,5 \frac{h}{x} \end{aligned}$$

Observe que quando  $\varepsilon_{c1} < -10$ , adotar  $\varepsilon_{c1} = -10$ .



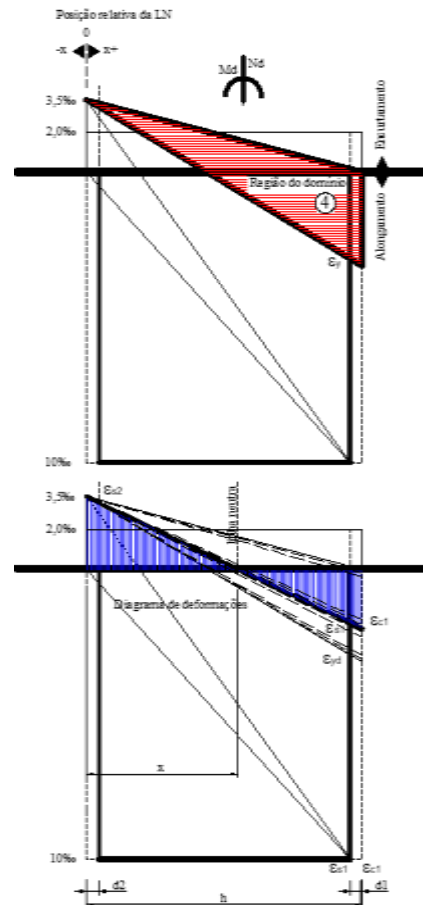


Figura 6. Representação do domínio 4 de deformações e diagrama de deformações.

### 3.4 CARACTERIZAÇÃO DO DOMÍNIO 4

Características (Figura 6):

- A linha neutra encontra-se dentro da seção transversal,  $x$  variando entre  $x_{lim(3-4)}$  e  $h$ . Parte da seção está comprimida e a outra parte, tracionada. Situações típicas: flexão simples (seção superarmada) ou composta com ruptura à compressão do concreto e aço sem escoamento.
- A ruína da peça ocorre pela ruptura da região comprimida do concreto (à deformação  $\varepsilon_{c2}=3,5\text{‰}$ ). Ruptura brusca, sem aviso prévio às baixas deformações.
- A seção resistente é composta pelas armaduras, uma vez que o concreto ruiu à deformação  $\varepsilon_{c2}=3,5\text{‰}$ .

Cálculo das deformações em função da posição da linha neutra: por semelhança de triângulos, e conhecidas a altura da seção transversal e a posição relativa das armaduras:

Convencionalmente,

$$\bullet \varepsilon_{c2} = 3,5$$

E então, por semelhança de triângulos,

$$\frac{3,5 - \varepsilon_{s2}}{d_2} = \frac{3,5}{x}$$

$$\frac{3,5 - \varepsilon_{s1}}{h - d_1} = \frac{3,5}{x}$$

$$\frac{3,5 - \varepsilon_{c1}}{h} = \frac{3,5}{x}$$

$$\frac{3,5 - \varepsilon_{s2}}{d_2} = \frac{3,5}{x}$$

$$\frac{3,5 - \varepsilon_{s1}}{h - d_1} = \frac{3,5}{x}$$

$$\frac{3,5 - \varepsilon_{c1}}{h} = \frac{3,5}{x}$$

$$\bullet \varepsilon_{s2} = 3,5 - 3,5 \frac{d_2}{x}$$

$$\bullet \varepsilon_{s1} = 3,5 - 3,5 \frac{(h - d_1)}{x}$$

$$\bullet \varepsilon_{c1} = 3,5 - 3,5 \frac{h}{x}$$

$$\bullet \varepsilon_{s2} = 3,5 - 3,5 \frac{d_2}{x}$$

$$\bullet \varepsilon_{s1} = 3,5 - 3,5 \frac{(h - d_1)}{x}$$

$$\bullet \varepsilon_{c1} = 3,5 - 3,5 \frac{h}{x}$$

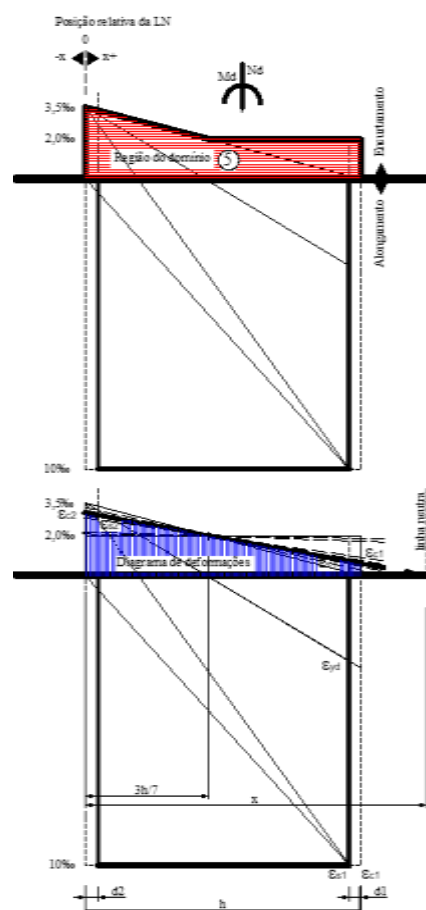


Figura 7. Representação do domínio 5 de deformações e diagrama de deformações

### 3.5 CARACTERIZAÇÃO DO DOMÍNIO 5

Características (Figura 7):

- A linha neutra encontra-se fora da seção transversal,  $x$  variando entre  $h$  a  $\infty$ . Toda a seção está comprimida. Situações típicas: compressão não uniforme, sem tração ( $h < x < \infty$ ) e compressão uniforme ( $x = \infty$ ).
- A ruína da peça ocorre pela ruptura da região comprimida do concreto (à deformação variando de  $\epsilon_{c2} = 2\text{‰}$  a  $3,5\text{‰}$ ). Ruptura brusca, sem aviso prévio.
- A seção resistente é composta pelas armaduras, uma vez que o concreto ruiu.

No limite dos domínios 4 e 5, tem-se as deformações  $\epsilon_{c2} = 3,5\text{‰}$  e  $\epsilon_{c1} = 0$ . Sabendo-se que na compressão uniforme a deformação máxima no concreto ocorre à deformação  $\epsilon_c = 2\text{‰}$ , é natural que haja um ponto cuja deformação permanece inalterada (a  $2\text{‰}$ ). Por semelhança de triângulos constata-se que este ponto dista de  $3h/7$  da borda mais comprimida da seção:

$$\frac{3,5}{h} = \frac{2}{h-x}, \quad 3,5 - 3,5 \frac{x}{h} = 2 \quad \bullet \quad x = \frac{3}{7}h$$

Cálculo das deformações em função da posição da linha neutra: por semelhança de triângulos, e conhecidas a altura da seção transversal e a posição relativa das armaduras:

$$\frac{\epsilon_{c2}}{x} = \frac{\epsilon_{c2} - 2}{\frac{3}{7}h}, \quad \epsilon_{c2} \frac{3}{7}h - \epsilon_{c2}x = -2x, \quad \epsilon_{c2} = \frac{2x}{x - \frac{3}{7}h} \quad \bullet \quad \epsilon_{c2} = \frac{14}{7x - 3h}x$$

$$\frac{\epsilon_{s2}}{x - d_2} = \frac{\epsilon_{s2} - 2}{\frac{3}{7}h - d_2}, \quad \epsilon_{s2} \frac{3}{7}h - \epsilon_{s2}d_2 - \epsilon_{s2}x + \epsilon_{s2}d_2 = -2(x - d_2)$$

$$\epsilon_{s2} \left( \frac{3}{7}h - x \right) = -2(x - d_2), \quad \epsilon_{s2} = \frac{2(x - d_2)}{x - \frac{3}{7}h} \quad \bullet \quad \epsilon_{s2} = \frac{14}{7x - 3h}(x - d_2)$$

$$\frac{\epsilon_{c2}}{x} = \frac{\epsilon_{s1}}{x - h + d_1}, \quad \epsilon_{s1} = \epsilon_{c2} \frac{x - h + d_1}{x} \quad \bullet \quad \epsilon_{s1} = \frac{14}{7x - 3h}(x - h + d_1)$$

$$\frac{\epsilon_{c2}}{x} = \frac{\epsilon_{c1}}{x - h}, \quad \epsilon_{c1} = \frac{14x}{7x - 3h} \frac{x - h}{x} \quad \bullet \quad \epsilon_{c1} = \frac{14}{7x - 3h}(x - h)$$

#### 4 CONCLUSÃO

O conhecimento dos domínios de deformação é fundamental para o ensino do dimensionamento de elementos estruturais submetidos às solicitações normais. Eles são também essenciais no estudo dos modos de ruptura à flexão de vigas de concreto armado. Nas disciplinas da área, os estudantes estão

ansiosos para aprender o dimensionamento de elementos, relegando, muitas vezes, ao segundo plano a fundamentação teórica.

Esta nova abordagem no ensino dos domínios de deformação, associada a um projeto pedagógico da disciplina, com atividades adequadas visa proporcionar uma aprendizagem mais consistente.

Com o intuito de testar as equações desenvolvidas para cada um dos domínios expostos acima, bem como ilustrar o comportamento das deformações no ELU para as faces opostas da seção e das armaduras de compressão e tração, criou-se uma planilha eletrônica destinada ao cálculo das deformações para diversas posições da linha neutra.

A planilha, disposta em linha, representa várias posições da linha neutra (variando de -500 a 500cm, passando pela seção transversal) e define as deformações  $\epsilon_{c2}$ ,  $\epsilon_{s2}$ ,  $\epsilon_{s1}$  e  $\epsilon_{c1}$ . A Figura 8 é um diagrama obtido pela plotagem dos dados obtidos na planilha. Nela foram acrescentadas informações para melhor representar o comportamento da seção: os limites dos domínios de deformação e a extensão da seção transversal.

Embora o diagrama da Figura 8 não seja necessariamente útil sob o ponto de vista do dimensionamento, pode ser para o ensino de concreto armado. Por exemplo, nota-se no diagrama, a convergência das deformações para -10‰ à medida que a linha neutra afasta-se para a esquerda (tração uniforme), e a convergência para 2‰ quando a linha neutra tende ao infinito (compressão uniforme). Nota-se também que no domínio 1 a seção está completamente tracionada, enquanto que no domínio 5, comprimida. A fim de facilitar a implementação de programas e/ou planilhas, organizou-se na Tabela 1 as fórmulas que resolvem as deformações  $\epsilon_{c2}$ ,  $\epsilon_{s2}$ ,  $\epsilon_{s1}$  e  $\epsilon_{c1}$ , função da geometria da seção, da posição do centro de gravidade das armaduras de tração e compressão, e da deformação de cálculo de escoamento do aço empregado.

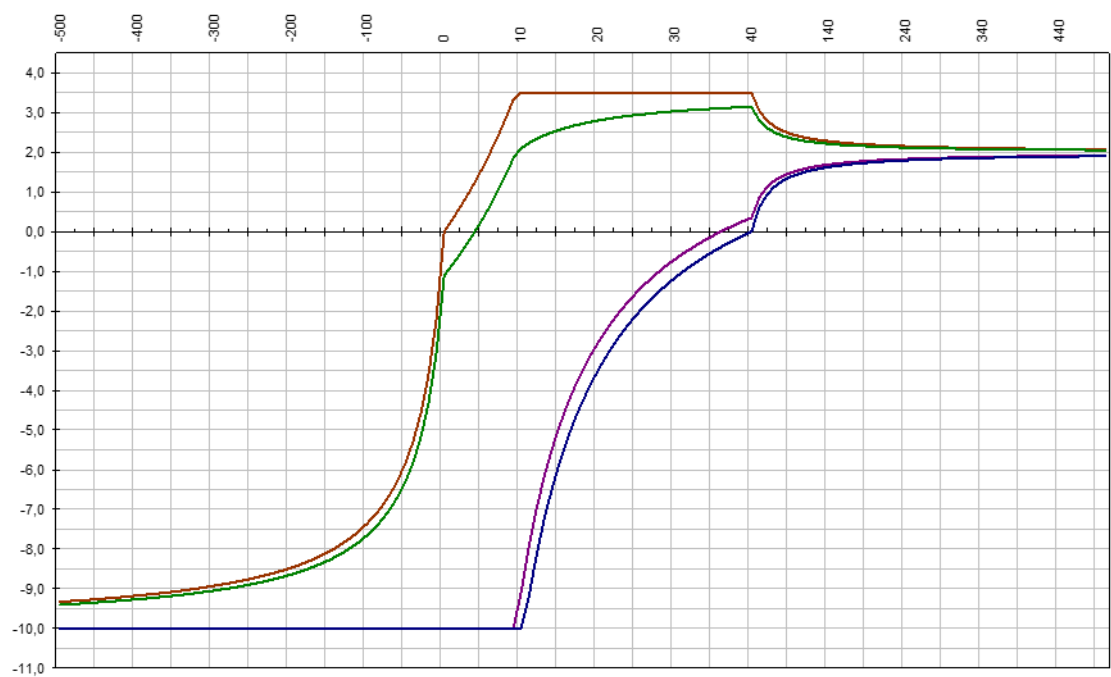


Figura 8. Diagrama x-ε no estado limite último de uma seção típica de concreto armado

Tabela 1

Se	D	εc2 (‰)	εs2 (‰)	εs1 (‰)	εc1 (‰)
$-\infty < x \leq 0$	1	$\frac{10x}{h - d_1 - x}$	$\frac{10(x - d_2)}{h - d_1 - x}$	-10	
$0 < x \leq x_{\lim(2-3)}$	2	3,5	$3,5 - 3,5 \frac{d_2}{x}$	$3,5 - 3,5 \frac{h - d_1}{x}$	$3,5 - 3,5 \frac{h}{x} \leq 10$
$x_{\lim(2-3)} < x \leq x_{\lim(3-4)}$	3				
$x_{\lim(3-4)} < x \leq h$	4				
$h < x < \infty$	5	$\frac{14}{7x - 3h} x$	$\frac{14}{7x - 3h} (x - d_2)$	$\frac{14}{7x + 3h} (x - h + d_1)$	$\frac{14}{7x - 3h} (x - h)$

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 6118:1980 Projeto e execução de obras de concreto armado. São Paulo: ABNT, 1980.

ABNT. NBR 6118:2014 Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos. São Paulo: ABNT, 2014.

ABNT. NBR 8953:1992 Concreto para fins estruturais – classificação por grupos de resistência. São Paulo: ABNT, 1992.

FUSCO, P. B. F. Estruturas de concreto: Solicitações normais. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1981.

SANTOS, L. M. Cálculo de concreto armado. Volume 1. São Paulo: Ed. LMS, 1983.

SUSSEKIND, J. C. Curso de concreto: Volume I. Rio de Janeiro: Ed. Globo, 1985.

# Capítulo 7



10.37423/220105263

## LIGAÇÕES METÁLICAS E SUAS LIGAS - INTER- RELAÇÕES ENTRE AS DIFERENTES ÁREAS DE ATUAÇÃO DOS ENGENHEIROS

*Ana M. C. Grisa*

*Valquíria Villas-Boas*

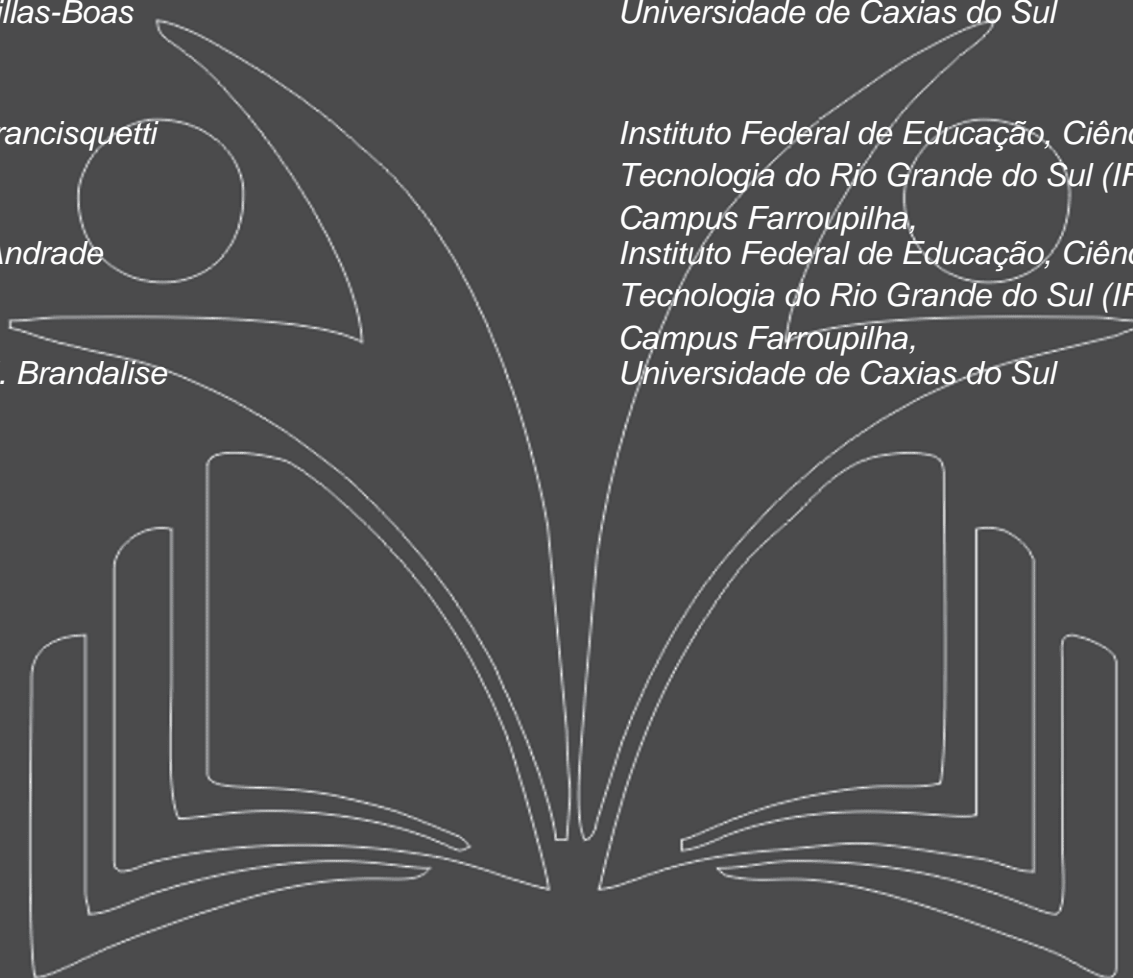
*Edson L. Francisquetti*

*MaraZeni Andrade*

*Rosmary N. Brandalise*

*Universidade de Caxias do Sul, Instituto  
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia  
do Rio Grande do  
Universidade de Caxias do Sul*

*Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS),  
Campus Farroupilha,  
Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS),  
Campus Farroupilha,  
Universidade de Caxias do Sul*



**Resumo:** Na busca por disseminar a formação integrada dos estudantes das Engenharias da Universidade de Caxias do Sul (UCS), uma ação foi proposta no processo de aprendizagem com respeito à disciplina de Química Geral. O objetivo dessa proposta foi a elaboração de um trabalho de pesquisa interdisciplinar, sobre ligação metálica e suas ligas e a interrelação dessa com a área de atuação dos aprendizes das diferentes engenharias. Este trabalho relata a proposta feita aos alunos, com destaque aos principais resultados obtidos. O resultado mais significativo dessa proposta foi a integração entre as diferentes áreas do saber, apoiadas em um tópico da Química Geral, ligações metálicas e suas ligas, que permitiu aos alunos a construção do significado de aprender de forma interdisciplinar, no processo de aprendizagem, e na aplicação dos conhecimentos adquiridos na atividade profissional de cada um.

**Palavras-chave:** Aprendizagem, Inter-relações, Ligação metálica, Engenharias, Área de atuação.



## 1 INTRODUÇÃO

Na busca por disseminar a formação integrada, professores do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET), da Universidade de Caxias do Sul (UCS), propuseram algumas ações em conjunto, para tornar mais sólida a aprendizagem do aluno das engenharias, com respeito à disciplina Química Geral. Essa disciplina é de formação geral para todos os cursos do CCET. O CCET oferta 14 cursos de graduação, sendo nove de engenharias, totalizando 4.900 alunos, representando hoje 15% dos 32.000 estudantes da UCS. Porém, dado o contexto de inserção profissional desses estudantes, deve-se levar em conta, na formação de engenheiros, o desenvolvimento de um profissional com perfil mais inovador e globalizado.

O mercado de trabalho atual está em constante mudança, necessitando cada vez mais de profissionais que se diferenciem e que possuam conhecimento específico de sua profissão, associado a uma formação generalista: um profissional que saiba exercer suas funções específicas e de liderança que tenha habilidade de comunicação com outras áreas, e que saiba se comunicar oralmente e na forma escrita.

No processo de aprendizagem, uma das tarefas do professor é transformar a aula em um veículo que incentive o aluno na busca do conhecimento, exercitando sua capacidade de raciocínio, e levando em consideração que a formação do aluno-engenheiro envolve paradoxos.

O primeiro é a multidisciplinaridade: a maior parte dos problemas concretos em engenharia exige a integração de conhecimentos apresentados em muitas disciplinas do curso. O segundo é o paradoxo do especialista: é impossível ensinar, em tempo hábil, todo o conhecimento que se espera que um engenheiro venha a usar hoje, devido às limitações de extensão e de tempo (SILVEIRA & SCAVARDA, 1999). O terceiro é o paradoxo do pensamento em rede. Atualmente, espera-se aplicar, ao mesmo tempo, o pensamento analítico que exige um trabalho profundo desenvolvido e expresso em linguagem técnica especializada, em geral solitária, e o pensamento em rede, que exige a interação do engenheiro com um grande número de atores e de instâncias trabalhando com linguagens técnicas diferentes ((BOHEM, 1987, CASTELLS, 2003; SILVEIRA, 2005).

A interdisciplinaridade no ensino de engenharia é tida como uma articulação entre as disciplinas na busca por superar a fragmentação, fator que dificulta a compreensão e a ligação entre conteúdos de uma mesma disciplina, de disciplinas da mesma área e de disciplinas de áreas diferentes. Ela pode ter

uma multiplicidade de interações: da simples comunicação de idéias até a integração mútua de conceitos diretores, da epistemologia, da metodologia e da terminologia (PIAGET,1990).

O trabalho interdisciplinar deve levar em conta áreas prioritárias, considerando, sim, que todos os enfoques e as partes têm suma importância na formação, ou seja, “ter um conhecimento que religue as partes ao todo e, evidentemente, o todo às partes”(MORIN, 1999).

Na busca por explicar os fenômenos do dia a dia do aprendiz, e de inseri-lo no processo de aprendizagem, é necessário dar significado aos conceitos. A contextualização deve, em primeiro lugar, assumir que todo conhecimento submete-se a uma interação entre sujeito e objeto. Dessa forma, o aprendiz pode demonstrar seu conhecimento, estabelecendo as relações com o seu dia a dia, e compreendendo os porquês dos porquês, e o conhecimento, assim assimilado, não se esvai.

A aprendizagem significativa ocorre quando novas informações e conhecimentos podem relacionar e implica uma aprendizagem ativa.

As propostas de trabalho dentro ou fora do espaço da sala de aula devem propiciar o estabelecimento das relações entre os conteúdos e as áreas do conhecimento, em função das necessidades e resoluções de problemas; favorecer a organização dos conhecimentos, a relação entre os diferentes conteúdos em torno de problemas; ajudar os aprendizes a estarem conscientes de seu processo de aprendizagem, o que exige do professor a tarefa de responder aos desafios que se estabelecem e; por fim, propiciar uma estruturação muito mais aberta e flexível dos conteúdos escolares (HERNANDEZ, 1988).

Diante das considerações apresentadas, é objetivo deste estudo desafiar aprendizes, de diferentes engenharias, matriculados na disciplina Química Geral, no início do curso, a elaborarem trabalho de pesquisa básica, interdisciplinar, sobre ligações metálicas e suas ligas. Essa proposta pretende despertar no aluno, uma vez de posse de determinado conhecimento, as relações do tema com sua atividade prática, o seu fazer profissional, despertando-lhes o gosto pela vivência do método científico.

Cabe salientar que, mesmo sendo a disciplina Química Geral ofertada no primeiro semestre, nos programas de execução curricular das engenharias, aproximadamente 70% dos alunos de engenharia, são alunos trabalhadores das empresas da região o que justifica cada vez mais este tipo de ação nas disciplinas.

## 2 DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA

A Química apresenta uma grande dificuldade, que é a de lidar com conceitos muito abstratos (BENZVI et al., 1987). Os aprendizes nem sempre entendem que ligações químicas envolvem formação de novas substâncias, a partir do consumo de substâncias presentes no sistema inicial. Para entender o conceito de ligação química, reconhecer as transformações, os alunos necessitam diferenciar conceitos, entender o processo e a ocorrência das mesmas.

Esses pressupostos fundamentam a organização da atividade, parte integrante da situação problema como forma de valorizar o saber cotidiano dos alunos e o saber científico.

No Aprendizado Orientado, os engenheiros da disciplina Química Geral, diante do reconhecimento do tema: ligações metálicas e suas ligas, deram início à etapa do levantamento bibliográfico, ou seja, à pesquisa a cada engenharia, dentro das suas atribuições profissionais, diferentes áreas podem ser fontes de pesquisa. Diferentes fontes de consulta foram apresentadas aos alunos, tais como: internet, com acesso pago: *Web of Science*; Portal de periódicos da Capes e livros disponíveis na biblioteca da Instituição. No segundo momento, a proposta de trabalho foi amparada na aprendizagem por questionamento (i.e. *inquiry based-learning*) (POLAMN, 2000; WOLF, 1987), visando a não somente aumentar a motivação dos alunos, mas também a aprendizagem significativa (AUSUBEL, 2003, ROMPELMAN, 2004). Em um terceiro momento, os alunos se manifestaram quanto à aplicabilidade e à inter-relação do conteúdo com sua área de atuação.

Como proposta de avaliação dessa atividade, os critérios a seguir foram considerados: conhecimento do aluno sobre o estado da arte, comprometimento com o tema e em relação ao grupo, apresentação para o grande grupo das inter-relações entre o tema e sua ação profissional, apresentação na forma escrita e oral, qualidade da conclusão e referências consultadas.

Os principais resultados da pesquisa realizada sobre ligações metálicas e suas ligas pelos diferentes grupos, encontram-se no Quadro 1.

## 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Participaram dessa atividade 32 alunos de nove habilitações de diferentes engenharias, com a apresentação oral e escrita de 16 trabalhos, todos inter-relacionados com as áreas de atuação. O resultado mais significativo dessa proposta foi a integração entre as diferentes áreas do saber, apoiadas em um tópico da Química Geral, ligações metálicas e suas ligas, o que permitiu aos alunos a

construção do significado de aprender de forma interdisciplinar no processo de aprendizagem e na aplicação dos conhecimentos adquiridos na atividade profissional de cada um.

Engenharias	Atividade de pesquisa	Trabalhos apresentados
Engenheiros ambientais	Que problemas ambientais os materiais metálicos e/ ou as ligas metálicas podem acarretar quando do seu descarte no meio ambiente? Aponte soluções	1) Ligas metálicas em pilhas em geral. Procedimentos adotados para minimizar o efeito do descarte desse material no meio ambiente. 2) Alternativas para remoção de metais pesados em efluentes industriais. Engenheiros de alimentos É aconselhável acondicionar alimentos em uma panela de alumínio? Justifique sua resposta. (características dos elementos da liga, processo de obtenção, interação alimento/liga, etc.) 3) Os efeitos do acondicionamento de alimentos em recipientes de alumínio.
Engenheiros de alimentos	É aconselhável acondicionar alimentos em uma panela de alumínio? Justifique sua resposta. (características dos elementos da liga, processo de obtenção, interação alimento/liga, etc.)	3) Os efeitos do acondicionamento de alimentos em recipientes de alumínio.
Engenheiros químicos	Nas chapas metálicas, nos processos industriais, são realizados diversos tratamentos superficiais, quais os tratamentos superficiais utilizados nas indústrias.	4)Acabamento superficiais de proteção em ligas: anodização, galvanoplastia e passivação.metálicas utilizado na empresa metal mecânica. 5) Tratamento térmico calórico e termoquímico de superfície de ligas.  6) Galvanização a fogo (zincagem por imersão á quente) de ligas metálicas
Engenheiros mecânicos Engenheiros de controle e automação industrial Engenheiros de produção	Indique, em seu ambiente de trabalho, quais as ligas metálicas utilizadas, suas composições características dos elementos da liga.	Ligas metálicas utilizadas em: 7) Sistemas automotivos que têm como produto: suspensões, eixos, vigas cubos e tambores. 8) Fabricação de pinos, guias, colunas de guia, esferas de blindagem dos rolamentos. 9) Ortopedia e implantes. 10) Construção de peças para encaixe no motor. 11) Ramo eletrônico e suas aplicações. 12) Mercado de acessórios de automóveis e empresas metalúrgicas.

Engenheiros de materiais	Em que consiste e quais as aplicações do processo de metalização de materiais poliméricos? O que são, características e aplicações dos biomateriais e o emprego de ligas metálicas.	13) Metalização de materiais poliméricos. 14) Uso de ligas metálicas na fabricação de biomateriais
Engenheiros civis	Os metais são amplamente utilizados, seja nas estruturas metálicas de pontes, edifícios, carros, seja em simples utensílios, embalagens, fios elétricos. Cite quatro os metais e/ou ligas metálicas (especificando sua composição) utilizadas na área da engenharia civil e suas aplicações.	15 )Ligas empregadas na construção civil; tipos e propriedades exigidas
Engenheiros elétricos	Cite duas ligas utilizadas no ramo eletrônico e suas aplicações.	16 ) Solda estanho /chumbo utilizada na engenharia elétrica e eletrônica.

**Quadro 1** - Resultados da pesquisa sobre ligações metálicas e as inter-relações com as engenharias:

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem á FINEP, IFRS e á UCS o suporte financeiro.

#### 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSUBEL, D. Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva Cognitiva, Editora Plátano, Lisboa, 2003.

BEM-ZVI, R.; EYLON, B.S.; SILBERSTEIN, J. Students visualization of a chemical reaction. Education in Chemistry, p.117-120, 1987.

BODINI, V. L. Uma reflexão sobre o Planejamento Estratégico em Instituições de Ensino Superior. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. São Paulo; 2000.

BOHEM, D. La totalidad y el ordem implicado. Barcelona, Kairós, 1987.

CASTELLS, M. The rise of the network society. 5th edition. New York: Blackwell Pub., 2003.

HERNANDEZ, F. & VENTURA A. A organização do currículo por projetos de trabalho. O conhecimento é um caleidoscópio, 5 ed.Artmed, Porto Alegre, 1988.

MORIN, E. Complexidade e Transdisciplinaridade: a reforma da Universidade e do ensino fundamental. Trad. de Edgard de Assis Carvalho. Natal: EDUFRN, 1999.

PIAGET, J. Para onde vai a educação. Ed. Livros Horizonte, 2 ed.Lisboa, 1990.

POLAMN, J. L. Designing Project-Based Science: connecting learners through guided inquiry. New York, Teachers College Press, 2000.

SILVEIRA, M. A. A formação do engenheiro inovador. Rio de Janeiro: CTC/PUC, 2005. Disponível em: maxweell.lambda.ele.puc-rio.br. Acesso em: 1º junho 2010.

SILVEIRA, M. A & SCAVARDA, C. L. C. Sequential and concurrent teaching: structuring Hands-On Methodology. IEEE Trans. Education, v. 42, n. 2, p. 103-108, May 1999.

# Capítulo 8



10.37423/220105274

## DESENVOLVIMENTO DE UM MICROINVERSOR DE BAIXO CUSTO UTILIZANDO CIRCUITO BOOST COM CONTROLADOR PROPORCIONAL RESSONANTE

*Renan Figueredo da SILVA*

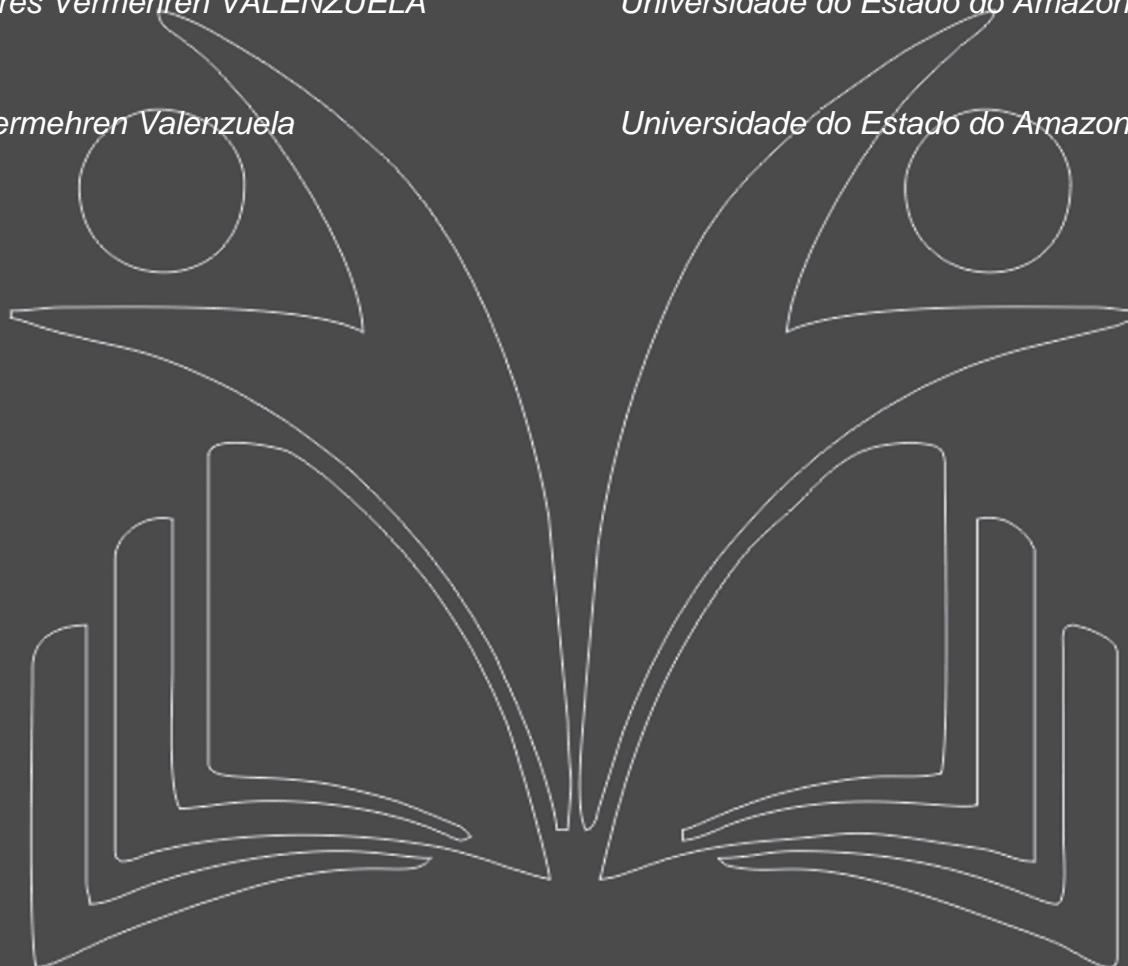
*wvalenzuela@uea.edu.br*

*Walter Andrés Vermehren VALENZUELA*

*Universidade do Estado do Amazonas*

*Victor E. Vermehren Valenzuela*

*Universidade do Estado do Amazonas*



**Resumo:** A pesquisa apresentada neste documento tem o objetivo de desenvolver via simulação um microinversor com circuito Boost, controlado por uma malha de controle em cascata e por um circuito em ponte H, este controlado por uma malha de controle com controlador Proporcional Ressonante (PR). Foram feitas simulações para averiguar se o microinversor possui alta eficiência e a corrente de saída possui baixa incidência de harmônicos. Por fim, foi feito o cálculo do valor do microinversor e comparado com os microinversores das principais marcas existentes no mercado.

**Palavras-chave:** Microinversores. Fotovoltaica. Energias Renováveis.



## I. INTRODUÇÃO

Para minimizar as consequências da utilização de fontes de energias não renováveis e não sustentáveis, a energia fotovoltaica foi amplamente adotada em diversos lugares no mundo porque a sua fonte é a incidência dos raios solares em dispositivos semicondutores (MACHADO; MIRANDA, 2015; SAMPAIO; GONZÁLEZ, 2017).

A energia produzida pelos módulos fotovoltaicos é de corrente contínua, e para transformar a corrente contínua em alternada são utilizados dispositivos chamados de inversores (KASA; IIDA; CHEN, 2005). Os inversores mais utilizados no mercado são os inversores modulares que utilizam vários módulos fotovoltaicos conectados em série para gerar a corrente e tensão no valor nominal da rede elétrica (KASA; IIDA; CHEN, 2005).

Para aumentar a eficiência da produção de energia elétrica fotovoltaica foram desenvolvidos os microinversores que são inversores de um ou mais módulos fotovoltaicos. Pelo fato de os microinversores utilizarem um único módulo fotovoltaico, a produção de energia elétrica é menos suscetível à sombreamento, porque o sombreamento de alguns módulos não forçam os outros módulos a diminuir a produção de energia elétrica (COUTINHO et al., 2016). Todavia, o custo dos microinversores é muito maior que os inversores

modulares, deixando elevado o *payback* em projetos com microinversores (COUTINHO et al., 2016).

Haja vista disso, a pesquisa tem como objetivo principal desenvolver no ambiente *Simulink* do *software* MATLAB um modelo de microinversor que recebe a corrente contínua de um módulo fotovoltaico e elevar com o circuito conversor *Boost* controlado por uma malha de controle em cascata. Em seguida, essa corrente é transformada em corrente alternada por um circuito em ponte H controlado por um circuito Proporcional Ressonante(PR).

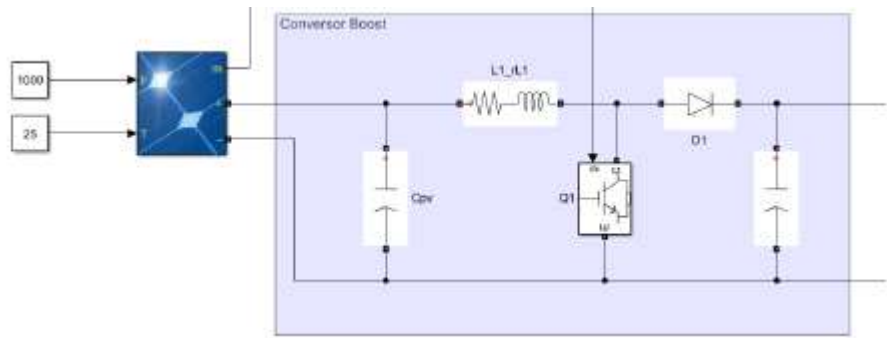
A seção II trata da implementação do conversor Boost, da sintonia da malha de controle em cascata do conversor *Boots* e da implementação do filtro RC passa-baixas. A seção III trata da implementação do circuito em ponte H e de elaboração da malha de controle do circuito em ponte H e de elaboração da malha de controle do circuito em ponte H. A seção IV descreve a sintonia do controlador PR e do filtro Ressonante. A seção V apresenta as simulações do microinversor. Na seção VI são mostrados os resultados das simulações. E por fim, são apresentadas as considerações finais da pesquisa.

II. CONSTRUÇÃO E CONTROLE DO CONVERSOR *BO-OST*

2.1 – *CIRCUITO CONVERSOR BOOST*

A Figura 1 mostra o conversor Boost utilizado no mi-croinversor.

Figura 1 – Circuito conversor Boost com módulo fotovoltaico.



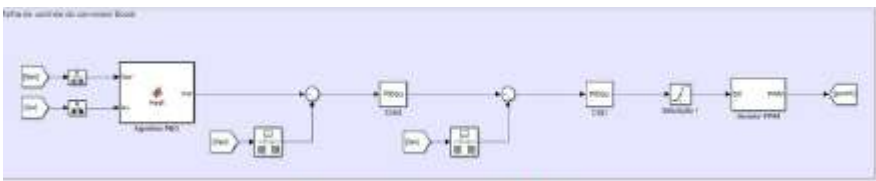
Os parâmetros do módulo fotovoltaico utilizado na simulação são as do módulo fotovoltaico de modelo X21-470- COM da marca Sunpower®. Os valores dos componentes do conversor Boost são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores dos parâmetros do conversor Boost

Valores dos parâmetros do conversor Boost	
Potência mínima de entrada (P)	238,9 W
Tensão de entrada ( $V_m$ )	70 V
Frequência de chaveamento ( $f_s$ )	20K Hz
Capacitor do módulo fotovoltaico ( $C_{pv}$ )	1000 $\mu$ F
Indutor do conversor Boost( $L_1$ )	5,24 mH
Capacitor do conversor Boost( $C_1$ )	6,78 $\mu$ F
Capacitor do filtro RC passa-baixas( $C_2$ )	795,77 $\mu$ F
Resistência equivalente ( $R_{eq}$ )	20,51 $\Omega$
Tensão de saída do conversor Boost ( $V_{dc}$ )	300 V

A Figura 2 ilustra a malha de controle em cascata do conversor *Boost*.

Figura 2 – Malha de controle em cascata do conversor Boost.



Fonte: Autores, 2021.

A referência é a saída do rastreador do ponto de máxima potência do módulo fotovoltaico. O algoritmo utilizado é o algoritmo Perturbe e Observe(P&O). O algoritmo P&O se baseia em alterar o valor de tensão de saída do módulo fotovoltaico e observar se houve ou não aumento de potência de saída (VERMA *et al.*, 2016).

A realimentação da malha de controle em cascata é o valor da tensão de saída do módulo fotovoltaico( $V_{pv}$ ). O controlador  $C_{vi}(s)$  controla o bloco  $G_{vi}(s)$  da malha externa, enquanto que o controlador  $C_{id}(s)$  controla o bloco  $G_{id}(s)$  da malha interna com um sinal *Pulse Width Modulation*(PWM). As equações (1) são as funções de transferência  $G_{vi}(s)$  e  $G_{id}(s)$ .

$$\begin{aligned} G_{vi}(s) &= V_{pv}(s)/I_L(s) = -1/(C_{pv}s + 1/R_{eq}), \\ G_{id}(s) &= I_L(s)/d(s) = V_{dc}/(L_1s + r_{L1}) \end{aligned}$$

As equações (2) são as funções de transferência de  $C_{id}(s)$  e  $C_{vi}(s)$ .

$$\begin{aligned} C_{id}(s) &= (k_{pi} + k_{ii}/s) \\ C_{vi}(s) &= (k_{pv} + k_{iv}/s) \end{aligned} \quad (2)$$

As equações (3) são para conseguir os ganhos proporcionais dos controladores  $C_{id}(s)$  e  $C_{vi}(s)$ (Equação 2).

$$\begin{aligned} k_{pi} &= (\pi f_s L_1)/(5V_{dc}), \quad k_{ii} = (\pi f_s r_{L1})/(5V_{dc}), \\ k_{pv} &= (\pi f_s C_{pv})/(50), \quad k_{iv} = (\pi f_s)/(50R_{eq}) \end{aligned} \quad (3)$$

A Tabela 2 mostra os valores calculados dos ganhos dos controladores do conversor *Boost*.

Tabela 2 –Valores dos ganhos do conversor Boost

<b>Valores dos ganhos dos controladores do conversor Boost</b>	
Ganho Proporcional da malha de controle interna( $k_{pi}$ )	0,3293
Ganho Integral da malha de controle interna( $k_{ii}$ )	6,2831
Ganho Proporcional da malha de controle externa( $k_{pv}$ )	-1,8849
Ganho Integral da malha de controle externa( $k_{iv}$ )	-0,9190

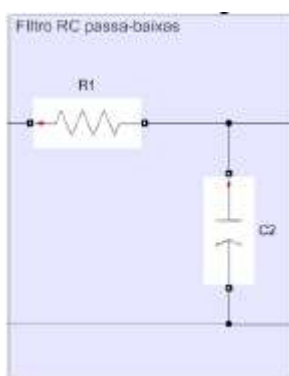
## 2.2 - FILTRO RC PASSA-BAIXAS NA SAÍDA DO CONVERSOR BOOST

Para diminuir as oscilações na saída do conversor *Boost*, foi colocado um filtro RC passa-baixas. A capacitância do filtro(C2) foi calculada utilizando a equação (4) (SEOK et al., 2013), considerando o valor da resistência(R1) igual a 1  $\Omega$  e o valor da frequência de corte( $f_c$ ) de 200 Hz:

$$C_2 = 1/(2\pi R_1 f_c) \quad (4)$$

O valor de C2 calculado na equação (4) foi de 795,77  $\mu$ F. A figura 3 mostra o circuito RC passa-baixas.

Figura 3 – Circuito RC passa-baixas.



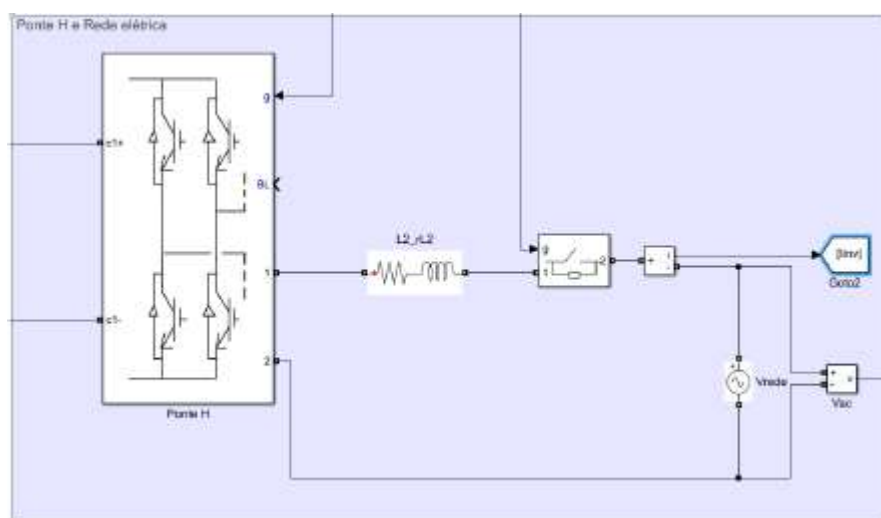
Fonte: Autores, 2021.

## III. CIRCUITO EM PONTE H E O DIAGRAMA EM BLO-COS DA MALHA DE CONTROLE

### 3.1 – CIRCUITO EM PONTE H

O circuito Ponte H possui 4 IGBTs(Isolated-Gated Bi-polar Transistor), um filtro indutivo (L2) e uma chave para permitir ou não a passagem da corrente de saída do microin-versor. A figura 4 mostra o circuito em ponte H.

Figura 4 – Circuito em ponte H.



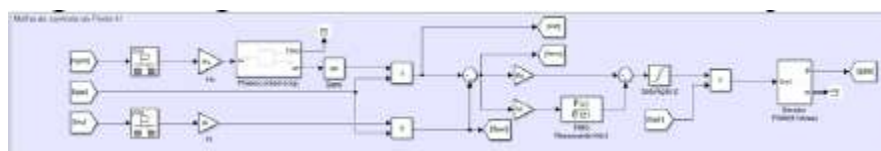
Fonte: Autores, 2021.

### 3.2 - DIAGRAMA EM BLOCOS DA MALHA DE CONTROLE DA PONTE H

A malha de controle da ponte H(MCPH) possui como referência o sinal seno da rede elétrica dividido pelo valor de pico da própria rede elétrica, esse sinal entra em um bloco *Phase-Locked-Loop*(PLL) para monitorar as distorções do ângulo de fase do sinal originado da rede elétrica, prevenindo a referência de enviar um sinal fora da frequência estipulada pela rede e assim garantindo sincronismo com a rede elétrica (KHALFALLA *et al.*, 2017). A realimentação é o valor da corrente de saída do microinversor dividido pelo pico da corrente desejada.

O controlador da MCPH utilizado é um controlador PR. O sinal de saída do controlador PR é aplicado ao gerador de sinal PWM que por sua vez aplica aos gates dos IGBTs da ponte H. A figura 5 mostra o diagrama em blocos da MCPH.

Figura 5 – Diagrama em blocos da malha de controle da ponte H.



Fonte: Autores, 2021.

Para a MCPH realizar o controle da ponte H, é necessário que duas condições sejam verdadeiras:

- O tempo de simulação deve atingir o valor de 0,5 segundo;
- O valor eficaz da tensão do filtro RC passa-baixas deve ser maior ou igual à VDC.

#### IV. SINTONIA DO CONTROLADOR PR

O controlador PR surgiu para resolver o problema de sincronizar as altas frequências de um sinal senoidal de referência (KHALFALLA *et al.*, 2017). O princípio de funcionamento do controlador PR está em produzir um ganho infinito na frequência fundamental e, assim, diminuir o valor do erro estacionário (KHALFALLA *et al.*, 2017).

O dispositivo utilizado na MCPH foi o controlador PR não-ideal porque ele é facilmente sintonizável (CHA; VU; KIM, 2009). A equação (5) é a função de transferência do controlador PR com filtro ressonante não-ideal.

$$G(s) = K_p + (K_i B_r s) / (s^2 + 2B_r s + \omega_r^2) \quad (5)$$

Em que  $B_r$  é a frequência angular de ressonância do filtro ressonante,  $\omega_r$  é a frequência angular de ressonância de referência.

##### 4.1 – SINTONIA DO CONTROLADOR PR

A sintonia do controlador PR é feita a partir do método polinomial de Nastin. O método polinomial de Nastin consiste em igualar o polinômio característico da função de transferência em malha fechada (FTMF) da ponte H com a FTMF do polinômio de Nastin (BACHA; MUNTEANU; BRATCU, 2014). As equações (6) são os ganhos do controlador PR (Equação 5).

$$\begin{aligned} K_p &= (\alpha \cdot \sqrt{(\alpha)} \cdot \omega_0 \cdot L_2 - r_{L2}) / (V_{dc}), \\ K_i &= (\omega_0^2 L_2 (\alpha^2 - 1)) / (2 \cdot V_{dc}) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} &\text{A equação (7) calcula o valor de } \alpha. \\ \alpha &= 2\zeta + 1 \end{aligned} \quad (7)$$

$\zeta$  é o coeficiente de amortecimento.

##### 4.2 – SINTONIA DO FILTRO RESSONANTE

A Equação (8) é a função de transferência do filtro ressonante extraído da equação (5).

$$H_r(s) = (B_r s) / (s^2 + B_r s + \omega_r^2) \quad (8)$$

O valor de  $\omega_0$  é a frequência angular da rede elétrica ( $\omega_0 = 2\pi fg$ ),  $B_r$  é 2% de  $\omega_0$ .

Por fim, o controlador PR deve ser convertido para o domínio Z utilizando a função *c2d* do *software* MATLAB.

#### 4.3 – CONVERSÃO DO FILTRO RESSONANTE NO DOMÍNIO W

Para verificar numericamente a precisão do projeto do controlador PR e a sua resposta em frequência, foi utilizado o fictício domínio w. O domínio w é um artifício que permite analisar o sistema do domínio discreto através dos diagramas de Bode semelhante aos gráficos do domínio contínuo (Equação 8) (BUSARELLO; POMILIO; SIMOES, 2018). A Equação (9) mostra a função de transferência do filtro ressonante no domínio discreto.

$$H_r(z) = Z\{H_r(s)\} = (n_0 + n_1z^{-1} + n_2z^{-2}) / (d_0 + d_1z^{-1} + d_2z^{-2}) \quad (8)$$

Para converter a Equação (9) para o domínio contínuo é necessário utilizar a função de transferência da equação (10).

$$z = (1 + (T_a/2)w) / (1 - (T_a/2)w) \quad (9)$$

Os valores das constantes da equação 9 são encontrados pelas Equações (11).

$$\begin{aligned} n_0 &= B_r T_a \\ n_1 &= [-B_r e^{(-0,5B_r T_a)} \cos(T_a \sqrt{(\omega_0^2 - 0,25B_r^2)} - C)] \\ n_2 &= 0 \\ d_0 &= 1 \\ d_1 &= -2e^{(-0,5B_r T_a)} \cos(T_a \sqrt{(\omega_0^2 - 0,25B_r^2)}) \\ d_2 &= e^{(-B_r T_a)} \end{aligned} \quad (11)$$

Onde C é calculado pela Equação (12):

$$C = ((0,5B_r^2) / \sqrt{(\omega_0^2 - 0,25B_r^2)}) e^{(-B_r T_a)} \sin(T_a \sqrt{(\omega_0^2 - 0,25B_r^2)}) \quad (12)$$

$T_a$  é o período da frequência de amostragem (Tabela 3).

A Tabela 3 mostra os valores das constantes do controlador PR.

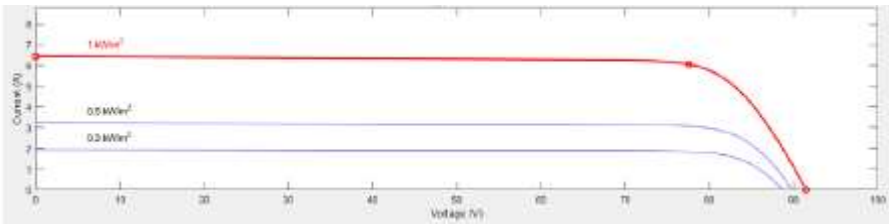
Tabela 3 – Constantes do controlador PR

Constantes do controlador PR	
Ganho proporcional do controlador PR(Kp)	0,5815
Ganho integral do controlador PR(Ki)	164,94
Frequência da rede elétrica (f <sub>g</sub> )	60 Hz
Frequência angular de ressonância(ω <sub>r</sub> )	376,99 rad/s
Frequência angular do Filtro ressonante(B <sub>r</sub> )	7,53 rad/s
Frequência de amostragem (f <sub>a</sub> )	30 K Hz
Coefficiente de amortecimento (ζ)	0,95
n <sub>0</sub>	2,51327412 * 10 <sup>-4</sup>
n <sub>1</sub>	-2,513075701 * 10 <sup>-4</sup>
n <sub>2</sub>	0
d <sub>0</sub>	1
d <sub>1</sub>	-1,99959081
d <sub>2</sub>	0,99974870

V. SIMULAÇÃO DO MICROINVERSOR

A simulação do microinversor foi realizada no intervalo de 1,5 segundo com três valores diferentes de irradiância no módulo fotovoltaico: 300 W/m2, 500 W/m2 e 1000 W/m2. A Figura 6 mostra as curvas da corrente do módulo fotovoltaico em função da tensão e a Figura 7 mostra as curvas da potência do módulo fotovoltaico em função da tensão para os diferentes valores de irradiância.

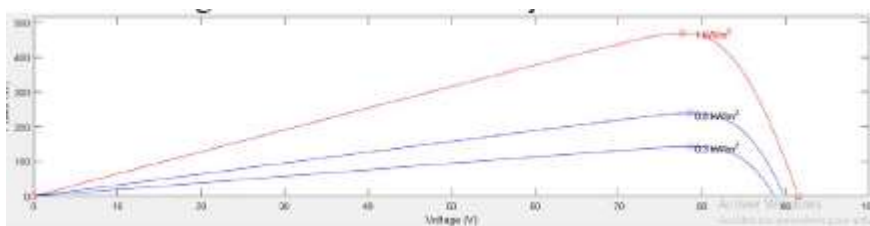
Figura 6 - Corrente em função da tensão.



Fonte: Autores, 2021.



Figura 7 – Potência em função da tensão.



Fonte: Autores, 2021.

Para cada valor de irradiância existe um valor diferente de corrente de saída do microinversor desejado. A Tabela 4 mostra o valor de corrente desejado para cada valor de irradiância.

Tabela 4 – Corrente desejada para cada valor de irradiância.

<b>Corrente desejada para cada valor de irradiância</b>	
<b>Irradiância(W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Corrente(A)</b>
300	1
500	1,8
1000	2,5

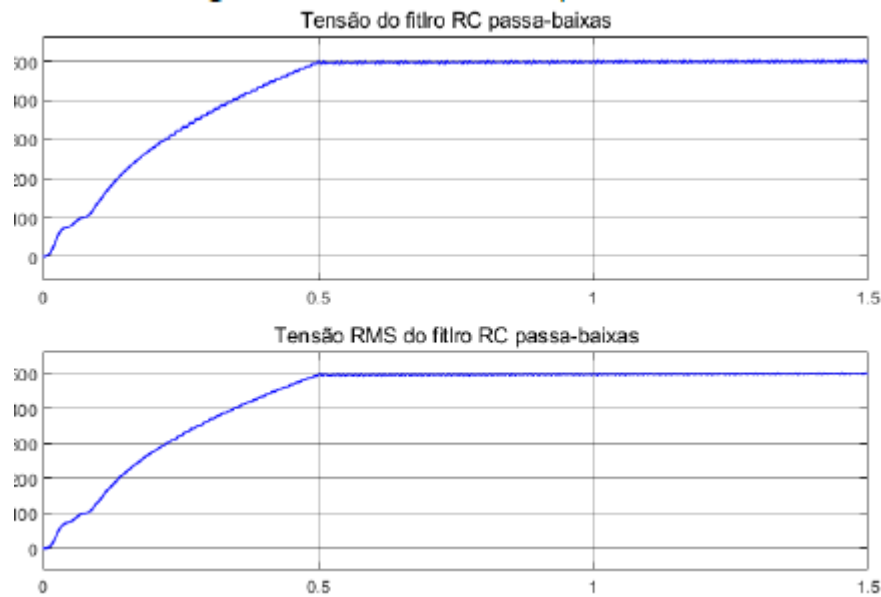
Os valores de irradiância e da realimentação foram valores escolhidos pelo projetista para extrair a melhor potência do módulo fotovoltaico e a melhor intensidade da corrente de saída do microinversor.

## VI. RESULTADOS

### 6.1 - TENSÃO DE SAÍDA DO FILTRO RC PASSA-BAIXAS

A Figura (8) é o valor da tensão de saída do filtro RC passa-baixas real e o valor eficaz(RMS) ao longo da simulação.

Figura 8 - Tensões do filtro RC passa-baixas.



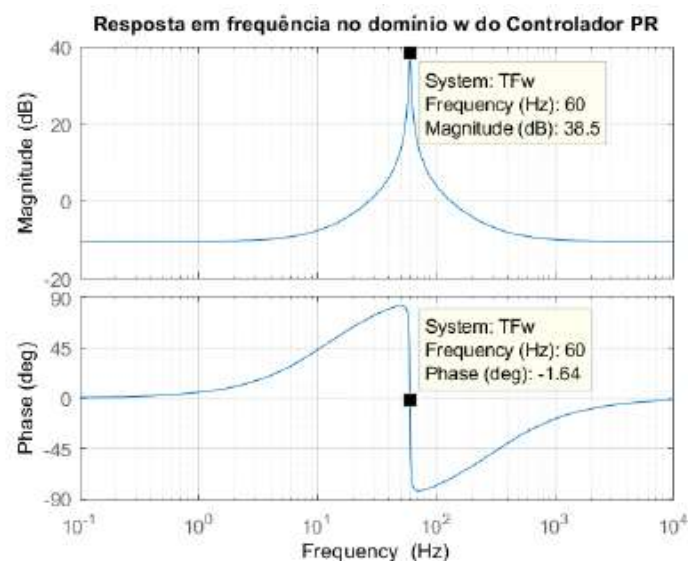
Fonte: Autores, 2021.

O valor eficaz da tensão do filtro RC passa-baixas atinge o valor de VDC antes de 0,5 segundo, que é um intervalo de tempo satisfatório para o funcionamento do microinversor.

## 6.2 - CONTROLADOR PR E FILTRO RESSONANTE NO DOMÍNIO W

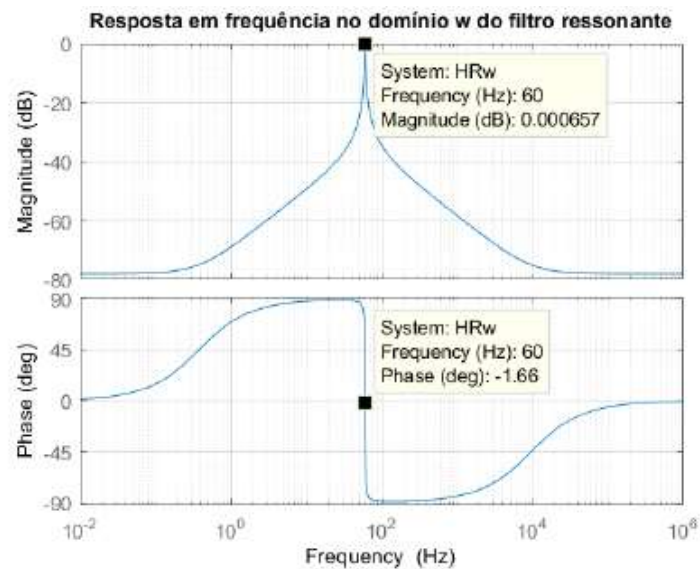
A Figura 9 e a Figura 10 são, respectivamente, o diagrama de Bode do controlador PR e o diagrama de Bode do filtro ressonante no domínio w.

Figura 9 - Diagrama de Bode do controlador PR no domínio w.



Fonte: Autores, 2021.

Figura 10 - Diagrama de Bode do filtro ressonante no domínio w.

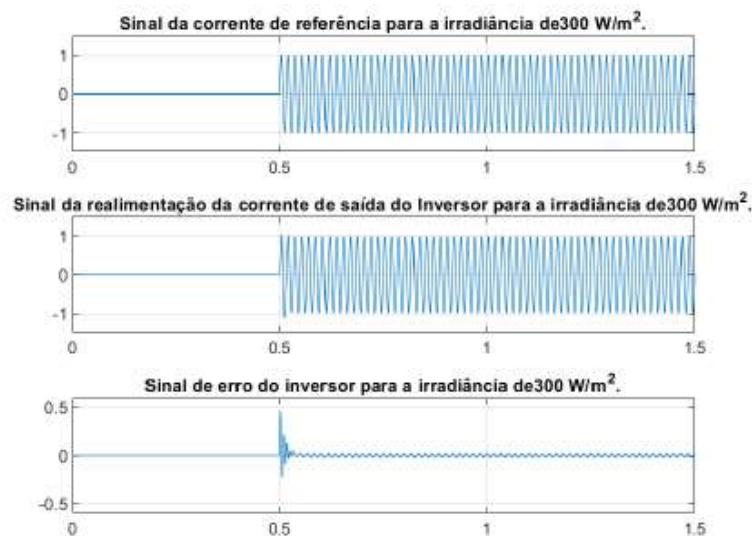


Fonte: Autores, 2021.

Os diagramas de Bode da Figura 9 e da Figura 10 mostram que quando a frequência tende ao valor de 60 Hz, a margem de fase encontra o seu valor máximo e a margem de ganho possui o valor próximo de  $-90^\circ$ , zero e  $+90^\circ$ , mostrando que o controlador atua na frequência  $f_g$  (Tabela 3).

### 6.3 – ANÁLISE DA CORRENTE DE SAÍDA DO MICROINVERSOR

As Figuras 11, 12 e 13 são os sinais de referência, realimentação e erro para as simulações do microinversor nos três valores de irradiância definidos na seção V.

Figura 11 - Sinais de referência, realimentação e erro na irradiância de  $300 \text{ W/m}^2$ .

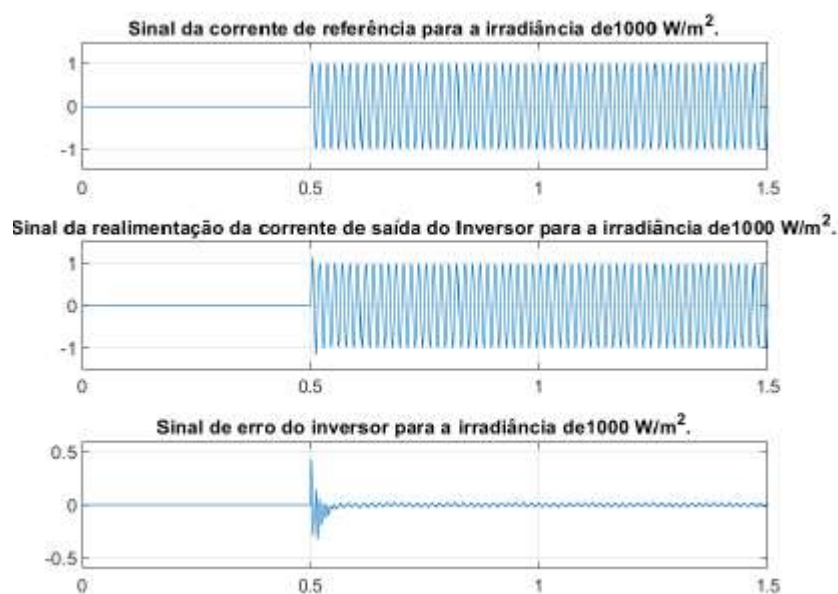
Fonte: Autores, 2021.

Figura 12 - Sinais de referência, realimentação e erro na irradiância de 500 W/m<sup>2</sup>.



Fonte: Autores, 2021.

Figura 13 - Sinais de referência, realimentação e erro na irradiância de 300 W/m<sup>2</sup>.



Fonte: Autores, 2021.

A Tabela 5 mostra os valores registrados de potência de saída, eficiência, erro e fator de potência para diferentes valores de irradiância.

Tabela 5 – Valores da corrente de saída para diferentes valores de irradiância.

<b>Valores da corrente de saída para diferentes valores de irradiância</b>			
	<b>Valores de irradiâncias (W/m<sup>2</sup>)</b>		
	<b>300</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>
Potência de saída (W)	126,3217	227,718	316,8232
Eficiência (%)	87,9335	96,3274	75,0773
Erro (%)	1,1106	1,332	1,1428
Fator de potência	0,70333	0,70438	0,7056

Comparando as simulações é possível afirmar que a melhor simulação foi a com irradiância de 500 W/m<sup>2</sup> porque foi o maior valor de eficiência registrado em relação às demais. Dessa forma, podemos escolher o valor de irradiância recomendada para o microinversor em 500 W/m<sup>2</sup>, 300 W/m<sup>2</sup> é o valor da irradiância mínima e 1000 W/m<sup>2</sup> é o valor da irradiância máxima. Em todas as simulações o fator de potência foi baixo, apresentando uma distorção harmônica total baixa no microinversor.

#### 6.4 - VALOR DO MICROINVERSOR EM COMPARAÇÃO COM OS DEMAIS MICROINVERSORES DO MERCADO

A Tabela 6 descreve o cálculo do valor do microinversor e a Tabela 7 mostra o valor do microinversor comparado com alguns microinversores das principais marcas do mercado, em dólares americanos, considerando a cotação do dia 19 de julho de 2021 (UOL, 2021).

Tabela 6 – Cálculo do valor do microinversor.

<b>Custo do microinversor</b>		
<b>Descrição</b>	<b>Quantidade* Valor Unitário</b>	<b>Sub-Total</b>
Placa Leonardo Arduino + Cabo USB	1*\$ 13,09	\$ 13,09
Sensor de corrente modelo ACS712	2*\$ 3,29	\$ 6,58
Sensor de tensão modelo ZMPT101B	3*\$ 4,94	\$ 14,82
Controlador PWM D4184	6*\$ 2,30	\$ 13,80
Resistor	1*\$ 0,25	\$ 0,25
Capacitor	3*\$ 0,81	\$ 2,43
Indutor	2*\$ 1,00	\$ 2,00
Placa de circuito Impresso	1*\$ 9,52	\$ 9,52
Valor total dos custos dos componentes		\$ 62,49
Coefficiente multiplicador considerando os demais custos		5
Custo total do microinversor		\$ 312,47

Tabela 7 – Comparação com outros microinversores existentes no mercado.

Valor dos demais microinversores em comparação com o desenvolvido na pesquisa	
Descrição	Valor
Microinversor desenvolvido na pesquisa	\$ 312,47
MICRO INVERSOR   APSYSTEMS   YC1000	\$ 540,00
MICRO INVERSOR   APSYSTEMS   YC600	\$ 364,35
MICRO INVERSOR   APSYSTEMS   QS1 1200W	\$ 508,70
MICRO INVERSOR   APSYSTEMS   QS1A 1500W	\$ 549,04
MICRO INVERSOR   MI-1200   HOYMI-LES	\$ 382,61
MICRO INVERSOR   MI-1500   HOYMI-LES	\$ 480,70

## VII. CONCLUSÃO

Nesta pesquisa, foi proposto e desenvolvido via simulação um microinversor com um *payback* menor em relação aos principais microinversores existentes no mercado. O resultado de \$ 312,47 no valor do microinversor mostrou ser o menor valor em relação aos microinversores das principais marcas (Tabela 7), mostrando ser uma alternativa viável para diminuir o *payback* de projetos fotovoltaicos com microinversores.

O conversor *Boost* consegue elevar a tensão do módulo fotovoltaico para o valor desejado em menos de 0,5 segundo, considerado um intervalo de tempo satisfatório porque é menor que o tempo de condição de funcionamento do microinversor explicado na seção V. O valor de irradiância recomendado de 500 W/m<sup>2</sup> foi escolhido porque foi registrado o valor de 96,3274 % de eficiência, o maior valor registrado em relação aos outros valores de irradiância. Os erros registrados foram de 1,1106 %, 1,332 % e 1,1428%, e os fatores de potência registrados foram de 0,70333, 0,70438 e 0,7056, por isso, podemos afirmar que o controlador PR foi sintonizado de forma satisfatória.

Por fim, a pesquisa do microinversor com conversor *Boots* e controlador PR é um modelo válido para um trabalho futuro de implementação física e assim validar o modelo desenvolvido.

## VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BACHA, S.; MUNTEANU, I.; BRATCU, A. I. Power Electronic Converters Modeling and Control: with Case Studies. 1. ed. [s.l.] Springer-Verlag London, 2014.
- BUSARELLO, T. D. C.; POMILIO, J. A.; SIMOES, M. G. Design Procedure for a Digital Proportional-Resonant Current Controller in a Grid Connected Inverter. 2018 IEEE 4th Southern Power Electronics Conference (SPEC), p. 1–8, 2018.
- CHA, H.; VU, T.-K.; KIM, J.-E. Design and control of Proportional-Resonant controller based Photovoltaic power conditioning system. 2009 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, p. 2198–2205, 2009.
- COUTINHO, C. et al. EFEITO DO SOMBREAMENTO EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS. VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, p. 1–8, 2016.
- KASA, N.; IIDA, T.; CHEN, L. Flyback inverter controlled by sensorless current MPPT for photovoltaic power system. IEEE Transactions on Industrial Electronics, v. 52, n. 4, p. 1145–1152, 2005.
- KHALFALLA, H. et al. An adaptive proportional resonant controller for single phase PV grid connected inverter based on band-pass filter technique. 2017 11th IEEE International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG), p. 436–441, 2017.
- MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão. Revista virtual de química, v. 7, n. 1, p. 126–143, 2015.
- SAMPAIO, P. G. V.; GONZÁLEZ, M. O. A. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 74, p. 590–601, 2017.
- SEOK, C. et al. Area-efficient RC low pass filter using T-networked resistors and capacitance multiplier. 2013 13th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2013), p. 1308–1311, 2013.
- UOL. Dólar Comercial, 2021. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos/>>
- VERMA, D. et al. Maximum power point tracking (MPPT) techniques: Recapitulation in solar photovoltaic systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 54, p. 1018–1034, 2016.



# Capítulo 9



10.37423/220205298

## SISTEMA DE MÓDULOS NO ENSINO DE CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL NO INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA (IME)

*Gustavo Rocha Silva*

*Instituto Militar de Engenharia*

*Jorge Luís Rodrigues Pedreira Cerqueira*

*Instituto Militar de Engenharia*

*Marcelo de Araújo Oliveira*

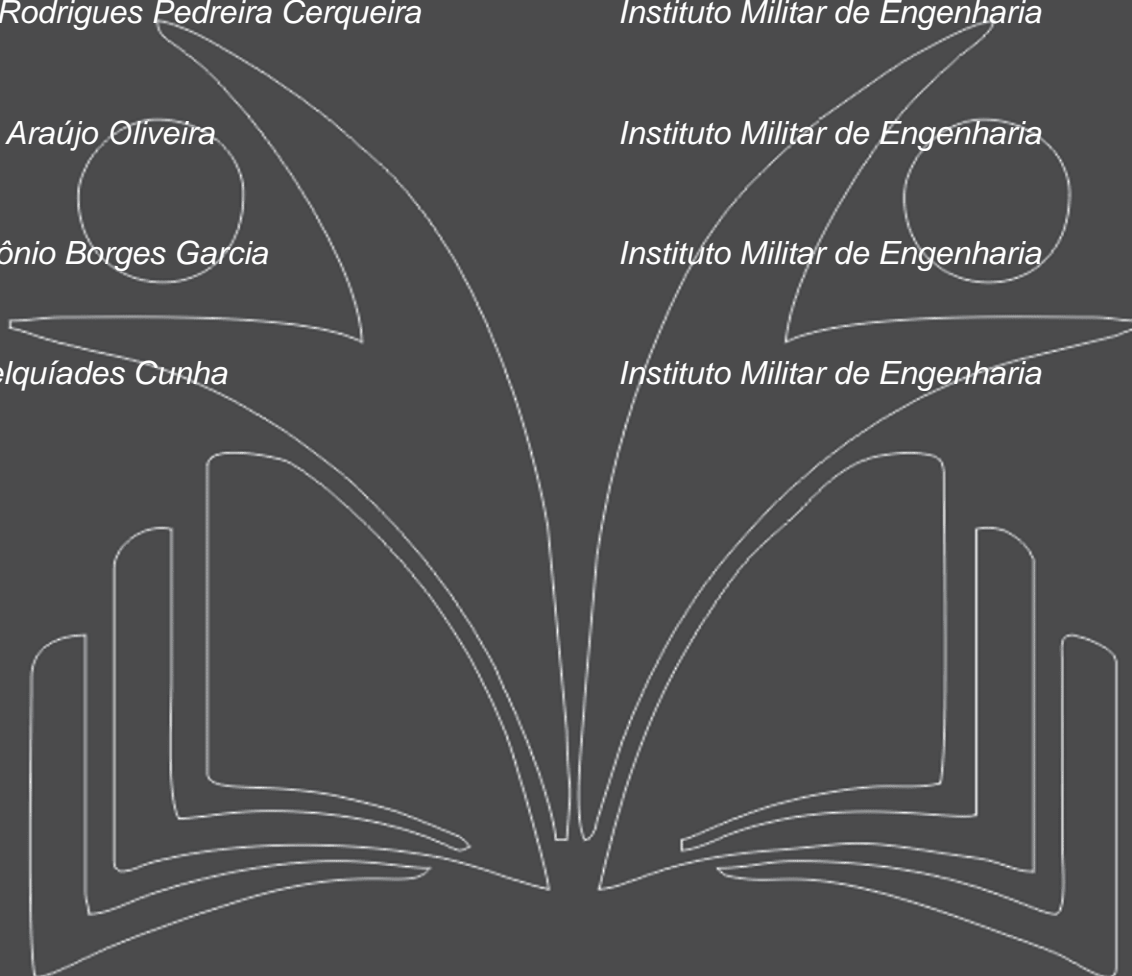
*Instituto Militar de Engenharia*

*Nelson Antônio Borges Garcia*

*Instituto Militar de Engenharia*

*Vinícius Melquíades Cunha*

*Instituto Militar de Engenharia*





**Resumo:** *Este trabalho apresenta duas modalidades de atuação no ensino das disciplinas de Cálculo Diferencial e Integral, com os mesmos conteúdos programáticos e com avaliações unificadas: o Sistema Tradicional e o Sistema de Módulos. No Sistema Tradicional, para cada turma é definido um professor responsável e este leciona todo conteúdo para as turmas sob sua responsabilidade. No Sistema de Módulos, o conteúdo das disciplinas é dividido em tópicos ministrados colaborativamente pelos professores de uma mesma equipe. Opiniões convergentes e divergentes são apresentadas tanto da parte dos alunos, quanto da parte dos professores dos sistemas adotados.*

**Palavras-chave:** *Cálculo, Básico, Conteúdo, Avaliação, Módulos.*

## 1. INTRODUÇÃO

O Instituto Militar de Engenharia (IME) apresenta algumas particularidades em relação às outras instituições de ensino de engenharia. Por exemplo, no concurso de admissão, que é nacional, são aplicadas apenas avaliações de Português, Inglês, Matemática, Física e Química. A relação candidato/vaga é de aproximadamente 55 alunos por vaga. Como resultado, é possível selecionar alunos de excelente nível intelectual. Há ainda a opção dos alunos por serem militares da ativa ou da reserva. Paralelo ao ensino de engenharia os alunos recebem formação militar (SD – COBENGE, 2012) [5]. Para o Curso de Formação e Graduação (CFG) são oferecidas anualmente em torno de 100 vagas e para o Curso de Graduação (CG), destinado aos oficiais da Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN), são oferecidas em média 16 vagas.

Os cursos de graduação em engenharia do IME têm duração de cinco anos, no sistema seriado, sendo que nos dois primeiros anos os alunos passam por um ciclo Básico, com grade curricular única. É somente ao final do ciclo Básico que o aluno escolhe a especialidade de engenharia que irá cursar no ciclo profissional (Fortificação e Construção, Elétrica, Eletrônica, Comunicações, Mecânica e de Automóveis, Mecânica e de Armamento, Química, Cartografia ou Computação).

Durante o ciclo Básico, o aluno do IME cursa 23 disciplinas, dentre elas, Cálculo Diferencial e Integral (I, II, III e IV), Álgebra Linear (I, II), Cálculo Numérico, Física (I, II, III e IV) e Química (I, II).

Estas disciplinas são distribuídas nos quatro primeiros semestres do curso de engenharia. No ensino do Cálculo Diferencial e Integral no ciclo Básico do curso de engenharia do IME, tradicionalmente, é dado um enfoque direcionado à Análise, tanto no espaço unidimensional quanto no espaço  $n$ -dimensional.

Um das referências básicas para o ensino do Cálculo são os livros Calculus I e II (APOSTOL, 1967) [2]. Não é uma tarefa fácil abordar o Cálculo Diferencial e Integral utilizando esse enfoque, uma vez que o estudo em nível abstrato exige uma certa maturidade dos alunos. Para validar essa argumentação, baseada no conteúdo da matéria versus didática em sala de aula, citase a fala de dois professores na pesquisa da professora Liane Ludwing Loder em (ADREATTI-DACOSTA & NITZKE, 2012) [1].

“O ensino da Engenharia tem tal especificidade que vale mais o conhecimento da matéria que ensina do que a própria didática que ele detenha.” “Sistematicamente eu tento sentir, nas aulas iniciais do semestre, como é que o grupo se comporta, como é que reage e tento adaptar aquilo que eu tenho que transmitir pra eles à forma como eles reagem, como se sentem mais à vontade.”

Nos dias de hoje, ressalta-se o uso de novas tecnologias, entretanto, é fundamental a formação pedagógica do professor para atuar em sala de aula. No IME, não se adota um aparato tecnológico em sala de aula. As aulas são predominantemente expositivas em quadro e giz e existe um sistema “online” onde os alunos tem acesso ao conteúdo programático e às listas de exercícios. Também, utiliza-se recursos de projeção áudio visual, como o “*power pointer*”.

## 2. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

O que se propõe neste trabalho não é novidade, “pois trata-se de um processo de ensino aprendizagem centrado não no aluno nem no professor, mas sim na interação sujeito a sujeito” (ANDREATA-DA-COSTA & NITZKE, 2012) [1].

Partindo do princípio que o aluno já possui uma boa bagagem matemática (vestibular do IME), o objetivo do professor como educador é dar ao aluno do ciclo Básico do IME um alicerce e uma dimensão maior no campo da engenharia para que o mesmo possa prosseguir no curso de engenharia e orientá-lo na tomada de decisão no momento da escolha da especialidade. Se bem que, esta escolha está condicionada ao desempenho do aluno no ciclo Básico, daí a necessidade da unificação da maneira de apresentar o conteúdo das disciplinas e avaliação justa do processo de aprendizagem.

Diante disso, o curso básico deve fornecer ao aluno meios para que o conteúdo e a avaliação durante o processo sejam unificados. Daí, a intervenção do professor como educador em ciência e tecnologia, fundada mais pela experiência vivida em sala de aula e ambiente de trabalho proporcionado pela instituição.

No Curso Básico existem três turmas de Cálculo I (1o. Ano CFG) e três turmas de Cálculo III (2o. Ano CFG) no primeiro semestre, e três turmas de Cálculo II (1o. Ano CFG) e três turmas de Cálculo IV (2o. Ano CFG) no segundo semestre. Essas turmas têm em torno de 33 alunos do CFG.

Além dessas turmas, existe uma turma de Cálculo III (2o. Ano CG) no primeiro semestre e um turma de Cálculo IV (2o. Ano CG) no segundo semestre, cada uma com 16 alunos.

Nas disciplinas de Cálculo Diferencial e Integral, foram adotados nos últimos três anos as duas modalidades de apresentação de conteúdo programático, com avaliação unificada, a seguir apresentadas:

## 2.1. SISTEMA TRADICIONAL

As turmas do CFG para cada nível do Cálculo (I, II, III ou IV) são divididas entre dois ou três professores. Já as turmas do CG, para cada nível do Cálculo (III ou IV) absorvem apenas um professor, e são tratadas à parte, apesar de participarem do mesmo processo de avaliação. O mesmo conteúdo programático é apresentado aos alunos em cada nível do Cálculo (I, II, III ou IV).

O processo de avaliação é feito de forma continuada durante cada semestre com pelo menos duas VE (Verificação de Ensino), uma VC (Verificação Corrente) e uma VF (Verificação Final). A Média Final é dada por:  $Média\ Final = (MVE + VC + 2VF) / 4$ , onde MVE é a média das VE. Para o aluno ser aprovado o mesmo deverá obter  $Média\ Final \geq 5$ . Caso contrário, o aluno passa por um exame de recuperação, no qual deverá obter uma média  $\geq 5$ , que consiste numa avaliação escrita e oral.

Para que os alunos sejam avaliados de maneira unificada, as provas são elaboradas pela equipe daquela disciplina durante o semestre, o mesmo critério de pontuação e gabarito para as questões das provas é utilizado durante a correção das mesmas. Para não haver distorções durante a correção, cada questão é corrigida exclusivamente por um dos professores da equipe.

## 2.2. SISTEMA DE MÓDULOS

Este sistema difere do anterior somente no momento da divisão das turmas para cada nível do Cálculo (I, II, III ou IV). Aqui, o conteúdo programático é dividido em módulos, onde todos os professores da equipe, para um dado nível do Cálculo (I, II, III ou IV), passam por todas as turmas. Trabalha-se com equipes de no máximo três professores.

## 3. RESULTADOS

Para avaliar o Sistema de Módulos foi realizada uma pesquisa com cerca de 200 alunos, que estudaram nos dois sistemas, e dez professores, que tiveram a oportunidade de lecionar no Sistema de Módulos.

Apresenta-se aqui, alguns pontos positivos e negativos apontados pelos alunos de Cálculo Diferencial e Integral do ciclo Básico em Engenharia do IME no Sistema de Módulos.

### **Pontos positivos do Sistema de Módulos:**

- Tem uma forma uniforme de ensino;
- Permite apresentar a didática de diversos professores;
- Os alunos conseguem um aprendizado mais homogêneo;

- Dá possibilidade a uma classificação mais justa entre os alunos;
- As turmas ficam mais equilibradas;
- Há uma dinâmica na apresentação da disciplina.

**Pontos negativos do Sistema de Módulos:**

- Alguns alunos tiveram dificuldade de se adaptarem ao sistema de módulos;
- Rotatividade dos professores nas turmas;
- Dificulta a relação aluno/professor;
- Didática variada dos professores;
- Apresentação do conteúdo programático fragmentada.

**Aspectos notados pelos professores do Sistema de Módulos:**

Apresenta-se agora, alguns aspectos notados por professores que atuaram nos Sistemas de Módulos:

- O professor fica sobrecarregado durante a apresentação do seu módulo;
- O professor deve dispor de tempo durante a fase do módulo (muitos professores têm funções administrativas);
- O professor fica, de certo modo, distante do aluno;
- Ambos os sistemas atendem os objetivos de unificação de ensino, aprendizagem e avaliação do curso Diferencial e Integral do ciclo Básico de Engenharia do IME.
- A figura de um coordenador no Sistema de Módulos é muito importante, ele deve estar presente em todas as fases das aplicações dos módulos.
- A avaliação do Sistema de Módulos serviu também para ressaltar aspectos positivos e negativos do Sistema Tradicional de ensino.

#### 4. CONCLUSÕES

O Sistema de Módulos utilizado em todos os níveis do Cálculo Diferencial e Integral no ciclo Básico em Engenharia do IME foi bem aceito pelos alunos. A sobrecarga de trabalho fez com que este sistema não fosse aceito por alguns professores. O Sistema de Módulos pode ser utilizado em grupos de três

turmas e no máximo com três professores, senão o mesmo fica inviável. Os professores da equipe devem ter um conhecimento geral do conteúdo da disciplina, não se limitando apenas ao conteúdo do seu módulo. É aconselhável o professor ter trabalhado antes com a disciplina no Sistema Tradicional de ensino. O Sistema de Módulos permite pontuar algumas questões do Sistema Tradicional.

## 5. REFERÊNCIAS

- [1] ADREATA-DA-COSTA, Luciano & NITZKE, Julio Alberto. A Educação em Engenharia: Fundamentos Teóricos e Possibilidades Didático-Pedagógicas, Porto Alegre, Ed UFRGS, 2012.
- [2] APOSTOL, Tom M. Caculus, vol. I e II, Wiley Int. Edition, 1967.
- [3] BAZZO, Walter Antonio. Ciência, Tecnologia e Sociedade, Florianópolis, Ed. UFSC, 2011.
- [4] PEREIRA, Luiz Teixeira do Vale & BAZZO, Walter Antonio. Anota aí! Pequenas crônicas sobre grandes questões da vida escolar, Florianópolis, Ed. UFSC, 2009.
- [5] SD – COBENGE2012. Desafios da Educação em Engenharia: Formação em Engenharia, Internacionalização, Experiências Metodológicas e Proposições, Brasília, Ed. ABENGE, 2013.

# Capítulo 10



10.37423/220205306

## UMA ALTERNATIVA PARA O ENSINO DA DISCIPLINA DE SELEÇÃO DE MATERIAIS NOS CURSOS DE ENGENHARIA

ODNEY CARLOS BRONDINO

Filippe de C. Bernardino

Renan P. de Godoi

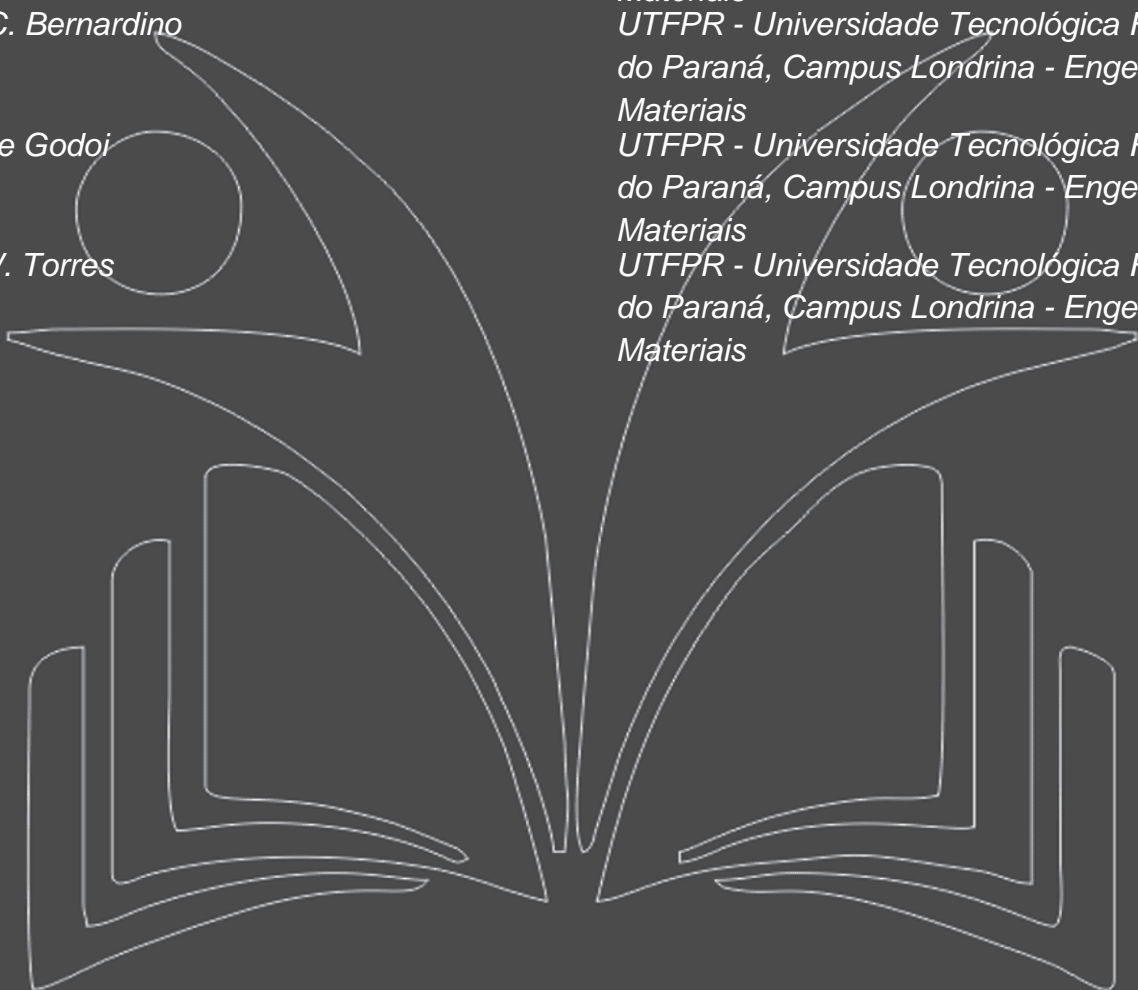
Sandro J. V. Torres

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Campus Londrina - Engenharia de  
Materiais

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Campus Londrina - Engenharia de  
Materiais

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Campus Londrina - Engenharia de  
Materiais

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Campus Londrina - Engenharia de  
Materiais





**Resumo:** *Este trabalho apresenta resultados dos projetos propostos a alunos de Engenharia de Materiais, mais especificamente da disciplina de Seleção de Materiais, a fim de consolidar o conhecimento acerca do assunto. Os estudos de casos propostos discriminam seus componentes, tendo como princípio a correlação do processamento com algumas técnicas de seleção de materiais, que apontam o melhor material a ser empregado. O critério de escolha dos projetos se volta a temas cotidianos e de fácil constatação. Como resultado, foi possível fixar o conhecimento desenvolvido em sala de aula, com a aplicação da fundamentação teórica no desenvolvimento destes projetos, onde foi possível determinar os materiais que resultam no melhor custo benefício na fabricação, a fim de reduzir o custo da matéria-prima para a produção, sem abrir mão das propriedades requeridas. Assim, observou-se que os temas propostos foram de grande motivação e de uma nova visão no conceito de engenharia, no uso e aplicação de materiais.*

**Palavras-chave:** *Ensino, Seleção de materiais.*

## 1. NTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia impulsionou a agilidade na aquisição de informações tanto no setor produtivo e técnico, quanto científico. Dessa forma, o ensino se tornou cada vez mais acessível, posto que a facilidade e o excesso de informações apontam disparidades na qualidade do acervo. Com isso, cabe ao profissional ter discernimento suficiente para selecionar o que se enquadra no âmbito do ensino, e que ao mesmo tempo corrobora com o material físico disponível.

Nesse contexto, o ensino à seleção de materiais, em cursos de engenharia, se torna tão amplo que o profissional além de expositor, deve exercer o papel de instrutor, fazendo com que o aluno passe de sujeito passivo na construção do conhecimento a colaborador no processo de desenvolvimento e aplicação de métodos de seleção de materiais. (BRONDINO e BRONDINO, 2012)

No plano acadêmico, quando busca-se a aquisição de informações relacionadas ao ensino em seleção de materiais, muito além dos livros, estudos de caso de projetos de engenharia consolidam e/ou exemplificam essa abordagem conceitual. Tais projetos normalmente são desenvolvidos ou alterados devido a exigências de mercado.

As forças de mercado são geradas pelo desejo e não pela necessidade, porém em um componente imposto por legislação, por exemplo, a necessidade de fabricação se sobressai ao desejo. Cerca de mais de 95% dos materiais de engenharia são produzidos com o fim de suportar cargas mecânicas. Com o desenvolvimento tecnológico busca-se flexibilizar os processos de fabricação sem que sejam comprometidas as propriedades, enfatizando então, a eficiência do processamento e maior controle de qualidade (ASHBY e JOHNSON, 2011).

Todo material tem suas características determinadas pela sua estrutura, entre elas, pode ser citada a densidade, resistência mecânica, resistência a corrosão e assim por diante. Todo projeto possui uma demanda de características necessárias que os materiais devem atender para que o mesmo seja executado com sucesso, portanto, é importante começar a seleção por uma lista completa de possibilidades.

A lista de possibilidades é reduzida por meio da triagem e eliminação dos materiais que não atendem as características mínimas requeridas. A escolha dos materiais ou classe de materiais que mais se enquadram as necessidades pode ser determinada por diagramas que correlacionam propriedades de interesse, onde pode ser necessário abrir mão do ótimo ou sacrificar uma propriedade em virtude da melhor otimização/combinção de propriedades, por meio da filosofia de compromisso.

A correlação de propriedades sugere a construção de gráficos de uma propriedade em relação à outra, mapeando assim as classes ou subclasses de materiais, gerando um acervo compacto de informações.

Os bancos de dados presentes em livros e Handbooks sugerem as mais diferentes relações, entre as propriedades e até mesmo o custo. É válido ressaltar que além do aprendizado voltado a características técnicas de materiais, a relação de custo deve ser tomada como um fator determinante para produção de componentes, uma vez que a indústria busca minimiza-lo da melhor forma possível, adequando o aluno ao atual ambiente econômico.

Uma segunda forma de selecionar os materiais triados é por meio do índice de mérito, ou índice de material, onde medem o quão satisfatório é a relação de propriedade de um dado material. Existem diversos índices, dependendo a correlação que se busca, cada qual relacionado a algum desempenho específico e eles remetem a critérios de excelência que permitem selecionar os materiais que melhor desempenham determinada função (ASHBY, 2012).

Outro fator que deve ser de compreensão do aluno, é a capacidade de analisar o histórico de mercado e de produção de um dado componente, peça ou equipamento, atribuindo pontuação quanto ao seu desempenho na sua experiência de mercado, podendo ser atribuídos dados de até vinte anos atrás para casos de produtos com longa história de mercado, pois é na experiência que se elimina a possibilidade de reproduzir um mesmo erro (DORNELES & PIMENTA).

Partindo destes conceitos, entende-se que o ensino a seleção de materiais pode ser visto de forma clara e objetiva como abordada anteriormente. Com a finalidade de incentivar a independência dos alunos no processo de aprendizagem. Essa experiência propôs que o conceito teórico da disciplina fosse consolidado por meio do desenvolvimento de projetos que justifiquem a utilização ou a substituição de determinados materiais na fabricação de peças ou produtos, visando melhorias nas propriedades e/ou redução no custo.

Os projetos selecionados para esta abordagem foram estudos de caso com os seguintes temas: bebedouro, extintor de incêndio e skate. A escolha de tais projetos abordados no artigo, justifica-se pela abrangência e fácil acesso destes na nossa vida cotidiana. Estes são atividades práticas dos alunos na sua área de formação e serão apresentados a seguir na forma de uma experiência acadêmica.

## 2. ESTUDOS DE CASO

### 2.1 BEBEDOURO TIPO COLUNA

Devido a necessidade de consumir água potável, tendo em vista a diminuição dos riscos de contaminação na distribuição desta, o bebedouro foi um dos mecanismos de maior sucesso criado em Londres (Séc. XIX), até então feito de bronze, evoluiu para se tornar mais portátil e eficiente, fazendo o uso de diversos materiais para sua produção. (METROPOLITAN DRINKING FOUNTAIN AND CATTLE TROUGH ASSOCIATION, 2014).

De acordo com (INMETRO, 2011) os bebedouros públicos podem ser classificados em 4 famílias: Coluna, por gravidade; Mesa ou suspenso, por gravidade; Coluna, por pressão conectado à rede hidráulica; Mesa ou suspenso, por pressão conectado a rede hidráulica. Desta mesma forma, a Associação brasileira de Normas Técnicas (ABNT) desenvolveu uma normalização (NBR 13972) que padroniza a construção de bebedouros com refrigeração mecânica controlada, em que define materiais, métodos e meios de construção de cada componente utilizado na montagem de um bebedouro público comum.

O exemplo utilizado para este trabalho é o bebedouro do tipo coluna, encontrado em ambientes públicos como escolas, restaurantes, academias, repartições públicas e na maioria de estabelecimentos com ambientes abertos.

Este tipo de bebedouros possui aproximadamente 20 a 35 componentes em sua construção e são feitos dos mais variados materiais, como é possível observar resumidamente na figura 1. Contudo, o aço inoxidável 304 e aços zincados são os materiais preferidos, pois possuem características excelentes para este tipo de aplicação, como capacidade de resistir a corrosão, suportar cargas compressivas, e solicitações de impacto. (TÉCNICAS, 1997).

Seu funcionamento bastante simples, é separado em alguns setores distintos como os de refrigeração e armazenamento de água, em que compressores proporcionam a refrigeração de fluídos que ao passarem por serpentinas de cobre, retiram calor da água armazenada em uma câmara construída também de aço inox revestida externamente de poliestireno expandido; setor de purificação, composto por filtros de carvão ativado próximos a entrada de água da rede alimentadora; torneiras que proporcionam o fluxo de água potável formando um jato de água para consumo do usuário; tampo ou cuba acoplada a um ralo, para conduzir o restante de água à saída e outros, como toda a rede de tubos e conectores internos que direcionam o fluxo de água da alimentação até a entrada do esgoto.

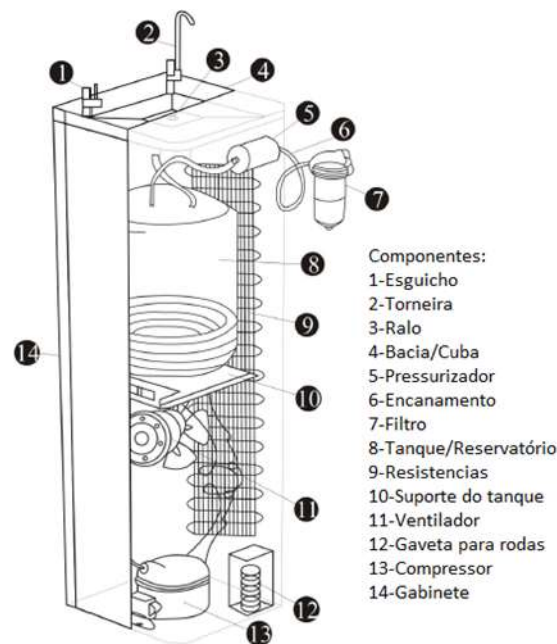


Figura 1. Principais componentes utilizados na construção de um bebedouro do tipo coluna

Fonte: (SILVA e D'FARIA, 2010)

A torneira, na maioria dos casos, é feita de material metálico como latão ou aço inox, pois são resistentes a compressão e a corrosão. São peças relativamente baratas, com a única função de permitir o envio de água com o acionamento de uma válvula, podendo ser processadas por forjamento e usinagem. Dentro destas peças, arruelas feitas de polímeros com elastômeros, são utilizados como vedação. O ralo pode ser construído tanto em aço inox como em polipropileno para reduzir custos, pois não se exige grandes esforços mecânicos durante o uso, já a cuba ou bacia é feita de aço inox 304 ou aço galvanizado, exige o mínimo de resistência mecânica para não se deformar com o apoio de um usuário e principalmente deve suportar a corrosão e a riscos de possíveis atritos com qualquer coisa que caia sobre a superfície da bacia. Esta é feita pelo processo de estampagem, pois a conformação de chapas de aço com espessura de aproximadamente 0,3 mm é uma operação relativamente fácil. (SILVA e D'FARIA, 2010).

O maior custeio na construção de um bebedouro do tipo coluna está sobre os mecanismos de refrigeração e troca de calor, como o compressor, serpentinas de cobre e principalmente o reservatório. O gabinete, que protege todos esses dispositivos internos é menos custoso, pois sua produção é bastante simples, como laminação e dobramento de uma chapa de aço. Para a junção de outras partes internas, faz-se o uso de rebites ou parafusos, portanto etapas de furação são

necessárias a chapa do gabinete. A cuba, que é feita do mesmo material segue como preço mais baixo e por fim, torneiras, ralo e encanamento interno, respectivamente.

A serpentina feita de uma liga de cobre, de acordo com os mapas de propriedades de ASHBY, possui a melhor condutividade térmica comparada com qualquer outro material, abaixo desta, observa-se as ligas de alumínio, com valores próximos. Estas, possuem melhor facilidade de processamento e menores custos, portanto pode ser uma excelente alternativa para substituição. (ASHBY, 2012).

A Cuba do bebedouro é um componente feito de aço resistente a corrosão, ou aço inoxidável 304 ou aço zincado. Para que haja alguma substituição desta peça por materiais mais baratos, estes devem no mínimo apresentar boas propriedades de resistência química e a intempéries. Devido a sua boa resistência à corrosão, os plásticos e compósitos com matriz polimérica, tem substituído os metais em muitas aplicações (GENTIL e NEVES, 1977). O teflon (poli-tetra-fluor-etileno) uma das substâncias mais inertes que se conhece além de ser antiaderente (menor coeficiente de atrito existente) pode ser processado por meios que gastem menos energia, comparado com a estampagem atual da cuba, como injeção de termoplásticos. Seu preço é relativamente mais barato do que o aço inox e pode ser feito com uma gama de cores, viabilizando novas aplicações.

## 2.2 EXTINTOR DE INCÊNDIO AUTOMOTIVO

Visto a quantidade de materiais inflamáveis que constituem um automóvel, desde óleos e combustíveis até seus estofados, também observando os incidentes ocorridos e a possibilidade de estancar um pequeno princípio de incêndio com facilidade, o CONTRAN (Conselho Nacional de Transito) usando da competência conferida no inciso I, do art. 12, da Lei 9.503, de 23/09/1997, que instituiu o Código de Trânsito Brasileiro, segundo o Decreto 2.327, de mesma data, e apoiando-se no art. 105 do Código de Trânsito Brasileiro, determina a obrigatoriedade do extintor portátil automotivo como item de segurança nos veículos automotores e ônibus elétricos (CONTRAN, 1997).

Até o ano de 2004, a legislação de trânsito apenas determinava a utilização de extintores, onde o equipamento atendia as necessidades do fogo de classe B e C. Mas como a classe A não deixa de estar presente em um automóvel, o CONTRAN, com a resolução nº. 157 de 2004 determinou que a partir de 2005, nenhum veículo automotor, elétrico, reboque ou semirreboque poderiam sair de fábrica, ser licenciado ou circular em vias pública sem que esteja equipado com extintor de incêndio, porém nessa circunstância, com extintor que englobe as classes A, B e C (CONTRAN, 2004).

Na categoria de portáteis, tem-se a Norma Brasileira ABNT NBR 15808, válida desde 2010, a qual reúne todas as exigências referentes a extintores de incêndio portáteis. Em geral, os extintores utilizados nos carros brasileiros, comportam 900-1000g. de agente extingüível.

A partir da obrigatoriedade da utilização de extintores que contemplem as três classes de fogo, o extintor BC caiu em desuso no setor automotivo, predominando o ABC (carregado com pó químico) que apaga todo tipo de fogo que possa advir do funcionamento de um veículo. Dado a legislação e normalização vigente, é sabido que um extintor é composto por vários componentes de diversos materiais e para uma maior compreensão, a Figura 2.a) mostra a secção de um extintor montado, enquanto que a Figura 2.b) expande os componentes básicos de um extintor. Os componentes de maior relevância são os numerados na Figura 2.a), onde são: conjunto de válvula, indicador de pressão, anel Oring, pino da válvula, mola, bucha plástica, tubo sifão e cilindro, aqui listados em numeração crescente, respectivamente.

Como visto na introdução, o curso de seleção de materiais, por meio de ferramentas eficientes, auxilia o entendimento da seleção do melhor material para dada aplicação, resultando em um componente satisfatório com menor custo. A seleção de materiais que suportem as exigências para fabricação de extintores portáteis automotivos será abordada referente à produção do vaso de pressão, já que o estudo para os demais componentes segue a mesma linha de raciocínio.

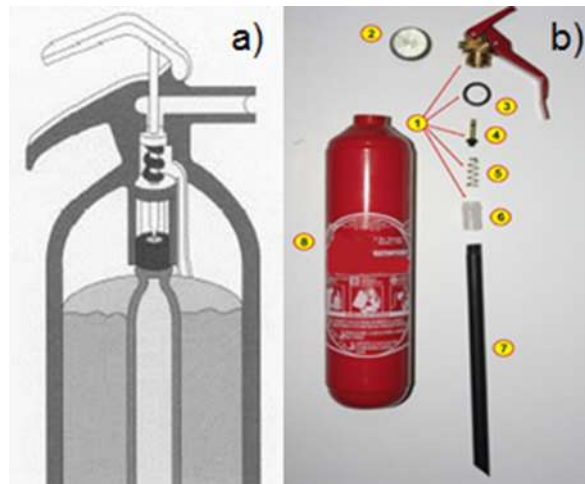


Figura 2: a) Esquema da secção transversal do extintor montado, b) Componentes de um extintor portátil automotivo

Fonte: a) Adaptado de Madehow, 2014, b) Extintores Mocelin, 2013

Segundo a empresa Kidde United Technologies, os vasos de pressão para esta aplicação, ficam sob pressão de 0,7 MPa. Assim, a NBR 15808 determina como processo de segurança, que tais vasos de pressão sejam submetidos a ensaios de pressurização, onde para serem aprovados, devem resistir a 2,5x a pressão normal de carregamento ou ao menos 2 MPa. Podendo ser fabricado em liga de alumínio (classes 1100, 1170, 3003, 6061 T6 e 6351 T6), aço inoxidável austenítico 304L ou aço carbono com baixo teor de carbono, laminado a frio (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010).

Dessa forma, é possível observar a Figura 3, que relaciona um dos pontos fundamentais para a utilização no setor produtivo de uma indústria, o custo.

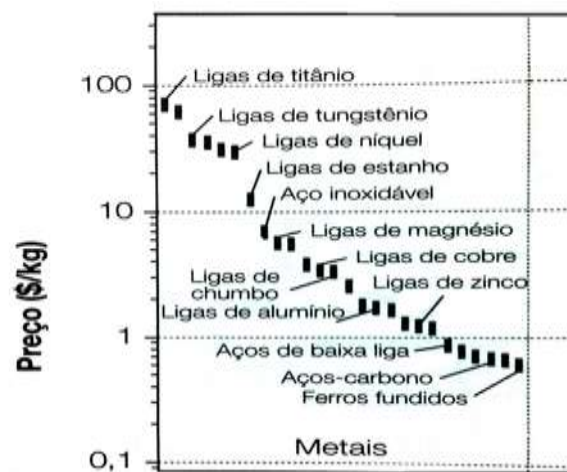


Figura 3 - Gráfico de custo por Kg de materiais metálicos

Fonte: Adaptado de ASHBY, 2012

A partir da Figura 3 é possível definir o aço carbono como material base para produção dos cilindros, já que a diferença de preço por Kg de metal é muito grande quando comparado às ligas de alumínio e ao aço inoxidável. Fazendo um levantamento no mercado brasileiro, produtor de vaso de pressão para extintores, encontra-se a utilização massiva do aço carbono SAE 1541, o que viabiliza ainda mais a sua seleção.

Segundo MATWEB (2014) o aço SAE 1541 é um aço ao manganês com teor de carbono variável de 36 a 41% e que apresenta propriedades conhecidas dos aços carbono tradicionalmente utilizados no mercado. Como a norma NBR 15808 determina que a utilização de solda deve ser a mínima necessária para vedar o cilindro, a calandragem de chapas é um processo que se torna desvantajoso devida quantidade de cordão que solda que é demandado. Dessa forma a estampagem profunda é o processamento que mais viabiliza a produção de cilindro através da união de duas partes



estampadas (com área mínima de soldagem), resultando em alta resistência a pressão e estanquidade (KIDDE UNITED TECHNOLOGIES).

Seguindo o mesmo raciocínio, o material de outros componentes também foi proposto por esse estudo, sendo eles: zamac para indicador de pressão, latão para pinos e arruelas, borracha nitrílica shore 70 para o anel Oring, polipropileno para bucha e tubo sifão.

Ainda é válido ressaltar que foi feita uma busca do tema no panorama internacional e observou-se que o pó químico a base de fosfato de monoamônico empregado no extintor ABC brasileiro é o mesmo largamente utilizado na Europa e Estados Unidos, além de constatar a dificuldade em abordar o tema no âmbito nacional e correlacionar com que se observa no cenário brasileiro, posto que poucos trabalhos científicos abordam o tema “Extintor Automotivo”. Ainda no *contexto internacional*, a ISO (*International Organization for Standardization*), especifica por meio da norma vigente ISO 7165:2009, os principais requisitos de segurança, confiabilidade e desempenhos dos extintores portáteis, com carga de até 20 kg, englobando desde extintores automotivos até industriais (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2009).

### 2.3 SKATE

A história do skate começou com a solução de um problema. Em 1960, na Califórnia, os surfistas vinham sofrendo com grandes épocas de maré baixa, que resultavam em ondas impraticáveis para o surf. A solução veio no intuito de aproveitar suas pranchas e trazê-las para o asfalto. (FERREIRA, 2010)

Inicialmente os skates consistiam de uma tábua reta e quatro rodinhas. Em meados de 1965 iniciou-se a fabricação industrial dos primeiros skates. Com o passar dos anos, o skate foi dividindo-se em modalidades, como o “street”, “downhill”, “indoor”, dentre outras, demandando por componentes mais eficientes em termos de propriedades mecânicas. (MARTINES e SILVA, 2012)

Nesse estudo de caso serão analisados os materiais atuais e possíveis substitutos, justificando a sua escolha, com o intuito de otimizar o desempenho do skate. De modo a facilitar o entendimento, o skate será dividido nos seguintes componentes: Shape, truck, rodas e rolamentos.

O componente que serve como base para que o skatista execute suas manobras é o shape, ou então deck, como é conhecido no exterior. Inicialmente, os shapes eram fabricados em madeiras sólidas, geralmente de carvalho, o que gerava um peso excessivo ao skatista. A partir da década de 70 foram introduzidas as madeiras laminadas, permanecendo até os tempos atuais. (MARTINES e SILVA, 2012)

A fabricação do shape de madeira se divide em: preparação das laminas de madeira, aplicação da cola, prensagem, recorte, acabamento e pintura. Esse processo pode demorar de 3 a 5 dias. (MARTINES e SILVA, 2012)

Alguns materiais como por exemplo os compósitos em fibra de vidro ( $\rho = 1,7 \text{ g/cm}^3$ ), fibra de carbono ( $\rho = 1,3 \text{ g/cm}^3$ ), kevlar ( $\rho = 1,44 \text{ g/cm}^3$ ) e o policarbonato. ( $\rho = 1,02 \text{ g/cm}^3$ ) podem ser utilizados como substitutos da madeira maple ( $\rho = 0,801 \text{ g/cm}^3$ ) atualmente utilizada. (FERREIRA, 2010)

Os shapes em material compósito, podem solucionar problemas de quebra, devido à baixa resistência mecânica da madeira, maior leveza quando comparado a outros materiais, menor reposição da peça quebrada, porém esbarram no quesito escala de produção, que está ligada diretamente ao valor do produto. (ALMEIDA, BASSETTI, *et al.*, 2012)

Um material que consegue reunir algumas dessas condições é o policarbonato, que possuem praticamente a mesma resistência mecânica que os feitos em madeira, com as seguintes vantagens: controle dimensional mais rigoroso e produção em larga escala, visto que os shapes devem ser conformados a quente. (GUERRERO e OROSCO, 2009)

Os trucks tem por função permitir a realização de curvas com o skate através da inclinação do corpo do skatista para o lado que se deseja. Pode ser entendido como um eixo, onde são acopladas as rodas e rolamentos. (AGUIAR, 2008)

Dentre os elementos que compõem o truck estão a base, o eixo, a trave e um par de amortecedores cilíndricos. Esses componentes estão ilustrados na Figura 4

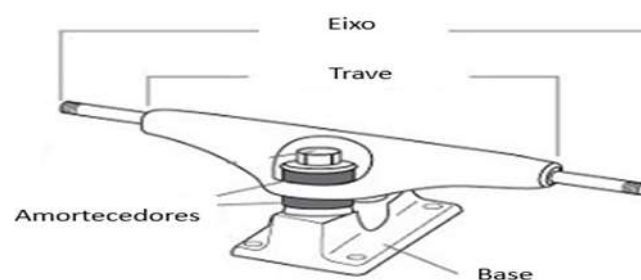


Figura 4 - Ilustração dos componentes do Truck

Fonte: Adaptado de Monster Sports, 2014

O alumínio é o material mais abundante nos trucks para skate, devido a associar alta resistência e baixa densidade ( $\rho = 2,70 \text{ g/cm}^3$ ), características almejadas no projeto desse componente. Outra propriedade que chama atenção é a resistência a corrosão, fato muito importante no projeto da vida

útil do componente, assim como na segurança do skatista. Devido a esses fatores, esse material é utilizado na base e na trave dos trucks mais recorrentes no mercado. Os trucks em alumínio podem ser fabricados por fundição convencional, ou por fundição sob pressão. (PETRUSO, 2000)

Visando atender às restrições de leveza e boa resistência mecânica, trucks de titânio já são encontrados no mercado, porém seu processamento envolve certa complexidade, o que acarreta num aumento no custo do produto. O aço tem seu uso restrito apenas ao eixo, pois esse componente requer boa resistência mecânica. Seu uso não se estende ao restante do truck devido a sua alta densidade ( $7,6 \text{ g/cm}^3$ ). (YNDYO, 2009)

De modo a permitir que o skatista realize as curvas em seu skate existem alguns amortecedores que são acoplados ao truck. O material mais utilizado para a fabricação dos amortecedores do skate é o poliuretano, devido às suas boas propriedades de elasticidade e recuperação da forma. (MARTINES e SILVA, 2012)

Desde 1965, quando os skates passaram a ter uma produção em escala comercial, as rodas assumiram várias formas, tamanhos em relação a sua espessura e também quanto a material, sendo as primeiras produzidas em ferro ou massa cerâmica.

Atualmente, as rodas mais usadas têm formas parecidas, mas com diâmetros e larguras que variam de acordo com a modalidade. O tamanho e a dureza das rodas podem influenciar tanto na velocidade, quanto no desenvolvimento das manobras pelo skatista. (AGUIAR, 2008)

Alguns candidatos para material ideal para as rodas são o Poliuretano, Polietileno e o Policloreto de Vinila (PVC). De acordo com o fabricante de rodas de skate MOSKA, as rodas de polietileno e PVC não são recomendadas para uso, devido às suas péssimas propriedades quanto a resistência a abrasão e aderência.

O material que possui as melhores características para as rodas é o poliuretano, que podem ser produzidas por dois métodos: por injeção, ou casting, que consiste na deposição do poliuretano líquido dentro de um molde, que nesse trabalho denominaremos fundição.

As propriedades da roda injetada são inferiores se comparados com a roda fundida, e a diferença se dá no modo como esta foi processada. Na roda fundida, temos a adição de agentes reticulantes, o que confere ao produto maior resistência ao desgaste, enquanto que na roda injetada, temos apenas a adição dos pellets na injetora, a entrada do polímero fluido no molde e sua solidificação. (MOSKA WHEELS)

Os Rolamentos, devido à sua aplicação devem apresentar alta resistência mecânica e alta resistência ao impacto. A precisão dimensional também é importante e suas tolerâncias são muito estreitas. O atrito é muito elevado nos componentes devido ao seu funcionamento, logo, os elementos deslizantes devem ser resistentes ao atrito e também resistentes à corrosão, que pode deteriorar o material, prejudicando seu funcionamento.

O aço, devido ao seu baixo custo e boas propriedades mecânicas, é uma boa opção na seleção do material para rolamentos. Produzindo peças com alta resistência, tenacidade e alta dureza superficial e também pelas variadas maneiras de conformação mecânica. (KIMINAMI, CASTRO e OLIVEIRA, 2013)

Uma alternativa já existente no mercado são alguns tipos especiais de rolamentos fabricados com cerâmicas duras, como o nitreto de silício, devido às melhores características dessa classe de materiais quanto a resistência ao desgaste, menor densidade e baixo coeficiente de atrito, porém sua dificuldade no processamento faz com que seu custo seja superior aos demais.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Partindo do proposto por este trabalho, na forma de fixação do conhecimento através do desenvolvimento de projetos voltados a seleção de materiais, entende-se que esta metodologia propicia ao aluno a compreensão e fixação de conceitos teóricos acerca deste assunto, de modo que eles consigam atrelar conhecimento teórico com aplicações práticas, onde futuramente venham a despertar meios de solucionar problemas em sua vida profissional.

Um dos maiores problemas que os engenheiros enfrentam no seu cotidiano é encontrar um material que otimize algumas propriedades no desenvolvimento do seu projeto. Por esse motivo algumas bibliografias e estudos foram criados a fim de sanar essa deficiência. Dessa forma, entende-se que a seleção de materiais é de extrema importância na otimização de bens de consumo industriais, impactando em melhores resultados de produção com o menor custo, já que dá suporte a essa demanda, contudo se faz presente a árdua tarefa em transmitir essa temática da melhor forma.

A dificuldade encontrada em lecionar tal conteúdo ainda é evidente, visto que apesar da existência de referencial teórico, cabe ao professor definir a metodologia empregada. Uma forma alternativa de transmitir tal conhecimento pode ser constatado com a experiência empregada em sala de aula, através do desenvolvimento de projetos propostos pelo professor, com base em produtos de fácil acesso.

Relatos dos acadêmicos demonstram que a fixação do conhecimento se fez presente. Corroborando com a prerrogativa de que o desenvolvimento pratico, sem dúvida, faz com que o ensino seja consolidado.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, T. C. O design gráfico que encontramos nos diferentes produtos da indústria do Skate, Rio de Janeiro, 2008. 26.
- ALMEIDA, D. R. D. et al. Shape de Policarbonato para Skate. Faculdade Araucária. Araucária, p. 16. 2012.
- ASHBY, M. F. Seleção de materiais no projeto mecânico. 4. ed. Rio de Janeiro, Elsevier, 2012.
- ASHBY, M.; JOHNSON, K. Materiais e Design: Arte e ciência da seleção de materiais no design de produto. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15808 - Extintores de incêndio portáteis. Rio de Janeiro, p. 56. 2010.
- ASSOCIATION, D.F. THE METROPOLITAN DRINKING FOUNTAIN AND CATTLE TROUGH ASSOCIATION. drinkingfountains.org, Londres. Disponível em: <http://drinkingfountains.org/>. Acesso em 05 Maio 2014.
- BRONDINO, O. C.; BRONDINO, N. C. M. Em Busca de um Método Para Melhorar a Aprendizagem em um Curso de Engenharia: Relato de Uma Experiência. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Belém, 03 a 06 Setembro 2012. 9.
- CONTRAN. Resolução do Contran n.157/2004. DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito, 2004. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm>.
- CONTRAN. Resoluções do Contran n. 14/98. DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito, 1997. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm>. Acesso em: 31 maio 2014.
- DORNELES, A. M. L. F.; PIMENTA, M. M. Critério na seleção de plásticos de engenharia para aplicações em veículos populares no Brasil. USP - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- EXTINTORES MOCELIN. Manual Técnico.2013, p.18.
- <[http://www.extintoresmocelin.com.br/upload/manuais/manual\\_tecnico\\_manutencao\\_extintores.pdf](http://www.extintoresmocelin.com.br/upload/manuais/manual_tecnico_manutencao_extintores.pdf)>. Acesso em: 27 abril 2014.
- FERREIRA, R. Comma Skateboard, São Paulo, p. 76, 2010.
- GENTIL, V.; NEVES, A. Corrosão, 1977.
- GUERRERO, C. A.; OROSCO, M. D. S. Shape para Skate em Policarbonato. MU8901373-5U2, Julho 13 2009.
- INMETRO. Procedimento de Fiscalização de bebedouros elétricos. INMETRO. [S.l.]. 2011.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7165:2009 - Fire fighting - Portable fire extinguishers - Performance and construction, 2009.

KIDDE UNITED TECHNOLOGIES. Extintores portáteis automotivos com carga de pó ABC. Disponível em: [http://www.kidde.com.br/Documents/datasheet\\_Automotiva.pdf](http://www.kidde.com.br/Documents/datasheet_Automotiva.pdf). Acesso em: 28 abril 2014.

KIMINAMI, C. M.; CASTRO, W. B. D.; OLIVEIRA, M. F. D. Introdução aos Processos de Fabricação de Produtos Metálicos. São Paulo: Blucher, 2013.

MADEHOW. Fire Extinguisher. 2014. Disponível em: <http://www.madehow.com/Volume-1/Fire-Extinguisher.html>; acesso em: 28 maio 2014.

MARTINES, E.; SILVA, E. F. Fabricação de Shapes de Skate. Instituto de Tecnologia do Paraná. [S.l.], p. 23. 2012.

MATWEB. Material Property Data, 2014. Disponível em: <http://www.matweb.com/>. Acesso em: 10 Mai 2014.

MONSTER Sports, 2012. Disponível

em: <http://www.monstersports.com.br/dicas-skate-longboard.php>. Acesso em: 05 jun. 2014.

MOSKA Wheels. Site da Moska Wheels. Disponível em:

<http://moska.com.br/default.asp?id=tecnologia>. Acesso em: 04 maio 2014.

NETO, M. L. F. Perspectiva da sustentabilidade ambiental diante da contaminação química da água: desafios normativos. InterfacEHS, Rio de Janeiro, p. 15, 2006.

PETRUSO, A. How Products are Made. Skateboard, 2000. Disponível em:

<http://www.madehow.com/Volume-6/Skateboard.html>. Acesso em: 01 abr. 2014.

SILVA, D. L. S. D.; D'FARIA, L. H. D. G. Preocupações projetuais de conservação e uso para bebedouros públicos do tipo coluna. 9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, São Paulo, Outubro 2010. 6.

TÉCNICAS, A. B. D. N. Bebedouros com refrigeração mecânica incorporada - Requisitos de qualidade, desempenho e instalação. ABNT. Rio de janeiro, p. 64. 1997.

YNDYO,. Skate Curiosidade, 2009. Disponível em: <http://www.skatecuriosidade.com/trucks/truck-de-titanium>. Acesso em: 30 abr. 2014.

# Capítulo 11



10.37423/220205313

## CONSTRUÇÃO DE UM DESIDRATADOR PARA SECAGEM DE FRUTAS NO PROCESSO DE ENSINO/APRENDIZAGEM DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA

*Eliana Janet Sanjinez-Argandoña*

*Universidade Federal da Grande Dourados*

*Orlando Moreira Junior*

*Universidade Federal da Grande Dourados*

*José Carlos Venturini*

*Universidade Federal da Grande Dourados*

*Kaio Vasconcelos de Oliveira*

*Universidade Federal da Grande Dourados*

*Diego Bonfim Souza*

*Universidade Federal da Grande Dourados*

*Lucio Satoru Fatori Trevizan*

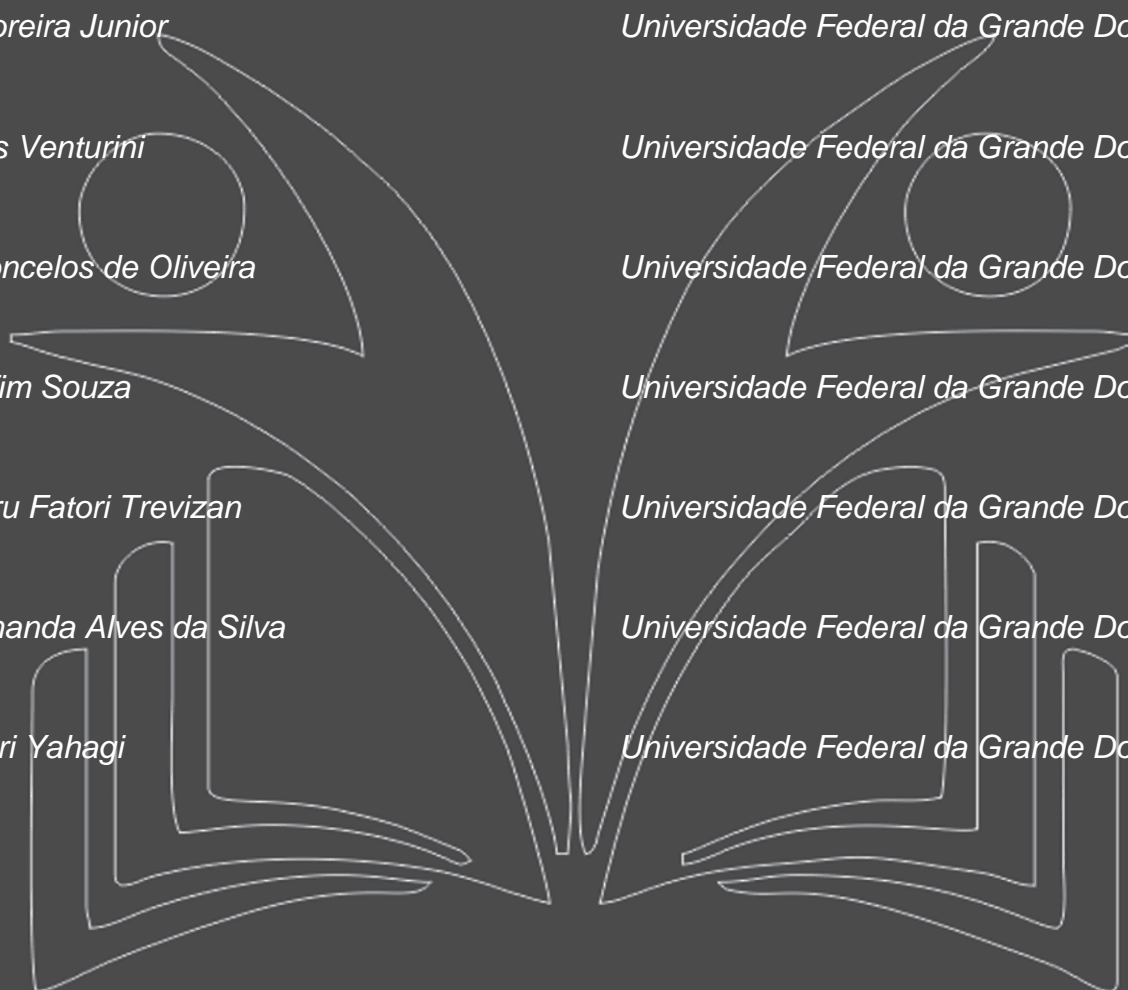
*Universidade Federal da Grande Dourados*

*Gisele Fernanda Alves da Silva*

*Universidade Federal da Grande Dourados*

*Silvia Sayuri Yahagi*

*Universidade Federal da Grande Dourados*





**Resumo:** O estudo apresenta um protótipo de secador convectivo para frutas e vegetais com circulação de ar quente forçada no interior do equipamento construído com materiais disponíveis e de baixo custo, visando sua construção e aplicação por agricultores familiares. Para a validação do secador foi realizado um estudo do comportamento da velocidade do fluxo de ar e da distribuição de temperatura no interior do secador, seguido de uma avaliação da cinética de secagem de cálices de rosela (*Hibiscus sabdariffa* L.) em camada fina. A estrutura do equipamento foi construída em madeira, revestida internamente com chapa galvanizada e externamente com compensado. Entre ambos os revestimentos foram colocadas placas de poliestireno expandido para o isolamento térmico. O aquecimento interno foi realizado por meio de resistência de 1000W e o fluxo de ar por ventilador de 50W. Para a distribuição dos alimentos no interior do secador foram construídas bandejas de malha de aço inoxidável. Por fim, são apresentados os parâmetros de secagem para cálices de rosela e algumas considerações a partir da perspectiva dos estudantes.

**Palavras-chave:** Secador artesanal, Cabine de secagem, Produtos desidratados

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos três maiores produtores mundiais de frutas, com uma produção de 58 milhões de toneladas produzidas em 2020, 5,4% do total mundial (CANAL RURAL, 2021). A base agrícola da cadeia produtiva das frutas abrange 2,7 milhões de hectares, gera 5 milhões de empregos diretos e um PIB agrícola de US\$ 11 bilhões (GASPAROTTO, et al., 2016). Além disso, a cada 10 hectares cultivados com frutas e/ou hortaliças, cerca de 25 pessoas são empregadas (PORTAL DO AGRONEGOCIO, 2018). Apesar de ser um grande produtor de frutas, o Brasil importa mais frutas desidratadas do que exporta.

Um aspecto determinante para o crescimento econômico é o processo de expansão do mercado de produtos a base de frutas, onde um item a considerar é a escolha do método de conservação. A desidratação é uma alternativa bastante conhecida para a conservação de vegetais e um processo de fácil aplicação que prolonga a vida útil, diminui o peso para o transporte e o espaço necessário para o armazenamento do produto (SANJINEZ-ARGANDOÑA, et al., 2018), além de concentrar o conteúdo de nutrientes e possibilitar sua adição em formulações alimentícias.

Existem inúmeros métodos destinados à desidratação de alimentos, desde os mais avançados (direcionados a produção em grande escala), aos mais simples (direcionados ao pequeno produtor), como a desidratação solar (mecânica e natural), sala de secagem, forno doméstico e desidratador (BALDWIN, 1999).

Tendo em vista as necessidades dos pequenos produtores rurais, buscou-se uma alternativa econômica, sustentável e ecologicamente viável para que estes pudessem obter uma renda complementar por meio do desenvolvimento de uma unidade de secagem de alimentos que utilize fontes de energia renovável e limpa. Os equipamentos para secagem, existentes no mercado, são onerosos para pequenos agricultores e as alternativas empregadas como a secagem ao sol dificultam a padronização da umidade final, o tempo de processo e a qualidade final do produto.

Sabe-se que a inovação tem um papel estratégico na construção dos alicerces da competitividade, da produtividade e, conseqüentemente, do crescimento econômico. A intensificação dos processos de pesquisa e inovação nas empresas requer um regime de incentivos efetivo e significativo para atender as necessidades de um mercado cada vez mais exigente. No entanto, encontram-se dificuldades na adoção de algumas técnicas disponíveis, geralmente criadas em países desenvolvidos, pois se necessita de adequação às características dos países em fase de desenvolvimento e à criação de conhecimentos adicionais, adaptativos, mediante estações experimentais pelo sistema industrial.

Devido a isso, a atuação das instituições de ensino, envolvendo estudantes de graduação engajados com a necessidade de conviver com limitações técnicas, pode estabelecer um elo entre o homem do campo e os centros geradores de tecnologia.

A construção de um desidratador alternativo poderá auxiliar na desidratação de produtos alimentícios ou de ervas medicinais e melhorar a qualidade de vida de agricultores pelo aumento de renda, oriundo da comercialização de produtos secos.

Do exposto, o objetivo do estudo foi construir um desidratador para secar frutas e vegetais comumente desperdiçados, principalmente em época de safra, a partir da criatividade e experiência das práticas realizadas nas diferentes disciplinas específicas da profissão dos cursos de Engenharia de Energia e de Engenharia de Alimentos.

## 2. METODOLOGIA

O equipamento foi construído no Laboratório de Mecanização Agrícola da Faculdade de Ciências Agrárias da UFGD. O material utilizado para construção foi compensado naval, chapa de zinco galvanizado, parafusos, pregos, resistência, termostato, fios, ventilador. O tamanho do desidratador foi definido em função da versatilidade de espaço e praticidade de deslocamento. As dimensões do desidratador são 1300mm de altura, 600mm de largura, 1000mm de profundidade, possuindo capacidade máxima de cinco bandejas com dimensões de 700mm x 510mm. As bandejas foram construídas com tela de aço inoxidável e bordas de alumínio. O ventilador forneceu a circulação do ar dentro do equipamento. A velocidade do ar dentro do secador foi determinada com um anemômetro digital e a temperatura de trabalho com termopares de cobre tipo J.

O teste preliminar do desidratador foi realizado utilizando cálices de rosela (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivadas no horto da Faculdade de Agronomia. O processo de desidratação da rosela consistiu em quatro etapas: 1a: Separação dos cálices da semente; 2a: Sanitização, lavagem dos cálices em solução de água clorada (com 3% cloro residual); 3a: Distribuição uniforme dos cálices nas bandejas e 4a: Secagem dos cálices no desidratador.

A cinética de secagem foi realizada a 60°C. As amostras foram pesadas em balança semi-analítica a cada 10 minutos até a primeira hora, logo a cada 30 minutos até 3 horas e, finalmente, a cada 100 minutos até 640 minutos de secagem. A partir da cinética foi definido o tempo de secagem necessário para obter um produto com umidade final inferior a 25%. A umidade dos cálices de rosela fresca e

desidratada foi realizada pelo método gravimétrico adaptado (IAL, 2008) em estufa de circulação de ar a 70°C por 24 horas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da concepção de que o ensino deva incitar a descobrir, motivar e fortalecer o potencial criativo do estudante (CAVALCANTI, 2005), além da educação meramente instrumental em sala de aula, se estimulou ao desenvolvimento do projeto de construção de um secador.

O conhecimento adquirido em disciplinas como transferência de movimento, calor e massa; operações unitárias; planejamento, montagem e execução de experimentos; métodos de análise experimental; entre outras, aliado às necessidades de grupos de produtores rurais da região motivaram o desenvolvimento do trabalho, incitando à "aprendizagem do conhecimento" técnico, além da sala de aula. Do "aprender a fazer", isto é, aplicar o conhecimento, do "aprender a conviver" entre áreas da Engenharia (Engenharia de Energia e Engenharia de Alimentos) e a sociedade (produtores rurais) e "aprender a ser" gerando o desenvolvimento pessoal e compromisso social da equipe envolvida. Baseado nessas premissas, estudantes de ambos os cursos, com a colaboração de técnicos e orientação de docentes desenvolveram o equipamento. Assim, o embasamento teórico para a construção do secador foi realizado por meio de pesquisa bibliográfica e das necessidades de desidratação rápida para frutas e vegetais comumente encontrados na região sul mato-grossense. O secador construído por NOGUEIRA et al. (1997), serviu como modelo para a construção do secador. O modelo foi adaptado para aumentar a eficiência e a capacidade de desidratação do equipamento.

A Figura 1 mostra a estrutura do equipamento construído em madeira e revestido internamente com chapa galvanizada. Na Figura 1a se observam as placas de poliestireno expandido utilizadas para minimizar a perda de calor e manter estável a temperatura interna do equipamento. A estrutura foi dividida em dois compartimentos (Figura 2), no compartimento inferior foram colocadas a resistência e o ventilador, e no compartimento superior as cantoneiras para colocar as bandejas. Para proteger o sistema elétrico foi utilizada uma bandeja de ferro galvanizado nas dimensões de 700 x 510 mm.



(a)



(b)

**Figura 1 – Estrutura do secador em madeira (a) e revestimento externo com compensado (b)**

As paredes internas foram revestidas com placa galvanizada e as paredes externas com compensado. Entre as paredes interna e externa foram colocadas placas de poliestireno expandido (isopor) como isolante térmico fazendo com que a temperatura desejada seja mantida no interior do equipamento.



**Figura 2 – Divisão interna do desidratador revestido com chapa galvanizada**

A resistência é ligada à corrente elétrica para aquecer o ar no interior do secador, o ventilador auxilia na circulação do ar no interior do equipamento. Uma rampa interna em alumínio (espessura de 0,5 mm) foi colocada para aumentar a eficiência na distribuição do ar quente e facilitar a limpeza do

equipamento. A rampa permite direcionar o ar aquecido para o compartimento das bandejas, o fluxo de ar ingressa no secador, perpendicular à posição das bandejas, o que favorece ao processo de desidratação por convecção através da malha de aço inoxidável das bandejas.

Para fixar as bandejas dentro do equipamento utilizaram-se cantoneiras de alumínio, presas e fixadas no compartimento superior do secador, como mostra a Figura 3. Para não obstruir a circulação de ar foram instalados batentes a uma distância de 150 mm, entre as bandejas e a parede do desidratador.

O desidratador possui ainda internamente cinco bandejas para que possam ser dispostas as frutas e/ou vegetais que irão ser desidratados. As bandejas (dimensões de 700 x 510 mm) foram construídas com cantoneiras de alumínio e nelas foi anexada a tela de aço inoxidável com abertura de malha de 4 mm<sup>2</sup>, para permitir o fluxo de ar em contato com o produto pela parte superior e inferior do mesmo, promovendo um sistema de desidratação convectivo.

O fluxo de ar no interior do equipamento variou de 0,4 a 1,5 m/s e no centro do secador o fluxo foi de 0,9 m/s. O controle de funcionamento da parte elétrica foi feito externamente através de um painel, montado na lateral do secador como mostra a Figura 4. O painel contém um termostato para ligar e controlar a temperatura no interior do desidratador ao mesmo tempo em que aciona o ventilador.



**Figura 3 - Fixação das cantoneiras para assegurar as bandejas dentro do desidratador.**



**Figura 4 –Termostato para ligar e controlar a temperatura no interior do desidratador**

As cantoneiras de alumínio foram instaladas para facilitar a manutenção e ter mobilidade das bandejas. As placas de compensado (parte externa) foram parafusadas e foi aplicada uma camada de verniz para maior proteção do secador. Na porta do secador foi colocada uma janela para visualização interna. A Figura 5 mostra o equipamento concluído.



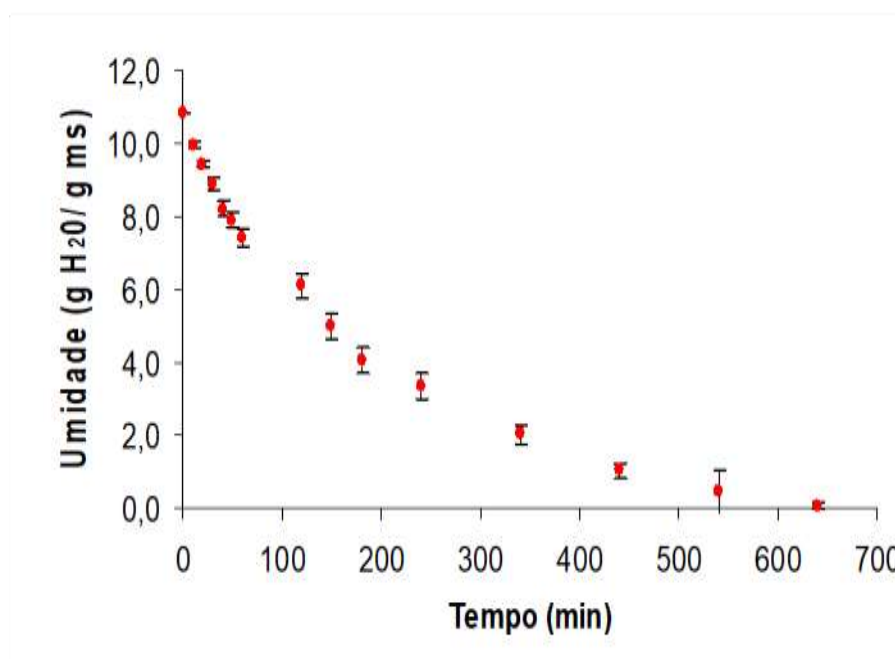
**Figura 5 – Secador de frutas**



Para a validação preliminar do sistema foram desidratados cálices da flor de rosela (*Hibiscus sabdariffa* L.), a escolha dos cálices foi devido à disponibilidade, visto que o *hibiscus* é uma planta de fácil proliferação e cultivo, resistente às variações climáticas. Seu cálice é o constituinte mais importante pela presença de antocianinas e alto teor de vitamina C, do qual se podem elaborar alimentos e bebidas, sendo usado principalmente como base no preparo de chás e no processamento de doces em calda, geleias, sucos, licores, vinagres, entre outros.

A Figura 6 apresenta a cinética de secagem dos cálices de rosela desidratados a 60°C em função da umidade (base seca) e o tempo. Observa-se maior redução de umidade até os 60 minutos de processo, posteriormente a perda de umidade torna-se mais lenta.

De acordo com a legislação brasileira, a umidade máxima permitida em frutas secas é de 25% (BRASIL, 1978), considerou-se a umidade final do cálice de rosela ao redor de 20%, como a umidade necessária para manter o produto estável por maior tempo de estocagem. Assim, o tempo de secagem necessário para se obter um produto estável (entre 20 e 25% de umidade) foi de 340 minutos para o processo de desidratação a 60°C,



**Figura 6 – Cinética de secagem de cálices de rosela desidratadas a 60°C**

Para validar o sistema ainda estão previstos ensaios com polpa de frutos do Cerrado como pequi, bocaiuva e bacuri, além de ervas aromáticas e medicinais, em diferentes temperaturas de processo.



#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desidratador construído com material e tecnologia disponível mostrou ser eficiente na cinética de secagem de cálices de rosela, mantendo estáveis as condições operacionais do processo. A desidratação a 60°C por 340 minutos com fluxo de ar de 0,9 m/s forneceu rosela desidratada com 20% de umidade final, o que possibilita sua conservação à temperatura ambiente.

O desidratador pode ser construído por agricultores rurais e pequenos produtores para disponibilizar alimentos desidratados em épocas de entressafra e/ou aumentar o valor agregado dos seus produtos.

A utilização do conhecimento adquirido durante a construção e validação do equipamento aumentou o interesse e a expectativa dos estudantes pelas outras disciplinas dos cursos e auxiliou na fixação dos conhecimentos teóricos já estudados, motivando ainda mais no estudo das áreas específicas de cada curso. Além de valorizar o trabalho em equipe e a multidisciplinaridade.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Ao técnico do laboratório de Engenharia de Energia David Vriesman pela contribuição na montagem do equipamento.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALDWIN, E. A, BAI, J.; WU, P.; MANTHEY, J.; GOODNER, K. Postharvest Biology and Technology, v. 17, p. 215-226, 1999.

BITTENCOURT, J. Avaliação de um secador de bananas do tipo cabine com bandejas. Campinas - SP, 2001.

BRASIL. Resolução CNNPA nº 12, de 1978. Aprova normas técnicas especial para frutas secas ou dessecadas. ANVISA, 1978. Disponível em:

<[http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12\\_78\\_frutas\\_secas.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12_78_frutas_secas.htm)> Acessado em 04 de maio de 2012.

CANAL RURAL. Estudo ressalta papel do Brasil como um dos maiores produtores agrícolas do mundo. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/noticias/estudo-ressalta-brasil-maiores-produtores-agricolas/> Acessado em 31 de janeiro de 2022.

CAVALACANTI, R. A., Andragogia na educação universitária, Revista Conceitos, julho 2005.

GUIMARÃES, M. M., SILVA, M. S. Valor nutricional e características químicas e físicas de frutos de murici-passa (*Byrsonima verbascifolia*). Ciências e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v.28, n.4, p.817-821, 2008.

GASPAROTTO, F.; RODRIGUES, F.S.; SERATTO, C.D.; COSTA, T.R. Cadeias Produtivas da Cana-de-açúcar, do Algodão e de Frutas. Unicesumar: Maringá, 2016F

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para Análise de Alimentos, 4 ed. São Paulo, 2008.

MOTA, R. V. Avaliação da qualidade de banana passa elaborada a partir de seis cultivares. Ciências e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 25, n. 3, p.560- 563, 2005.

NOGUEIRA, R. I.; CORNEJO, F. E. P.; PARK, K. J.; VILLAÇA, A. de C. Manual para construção de um secador de frutas. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CTAA, 1997. 20 p. (EMBRAPA-CTAA.Documentos; n.10).

PORTAL DO AGRONEGÓCIO. Produção de frutas e hortaliças no Brasil destaca-se pela geração de empregos. Disponível em:

<https://www.portaldoagronegocio.com.br/agricultura/fruticultura/noticias/producao-de-frutas-e-hortalicas-no-brasil-destaca-se-pela-geracao-de-empregos-178323>. Acessado em 31 de janeiro de 2022.

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J., YAHAGI, L. Y., COSTA, T. B., & GIUNCO, A. J. Mango dehydration: influence of osmotic pre-treatment And addition of calcium chloride. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 40, n. 4, p. 1 – 9. 2018.

# Capítulo 12

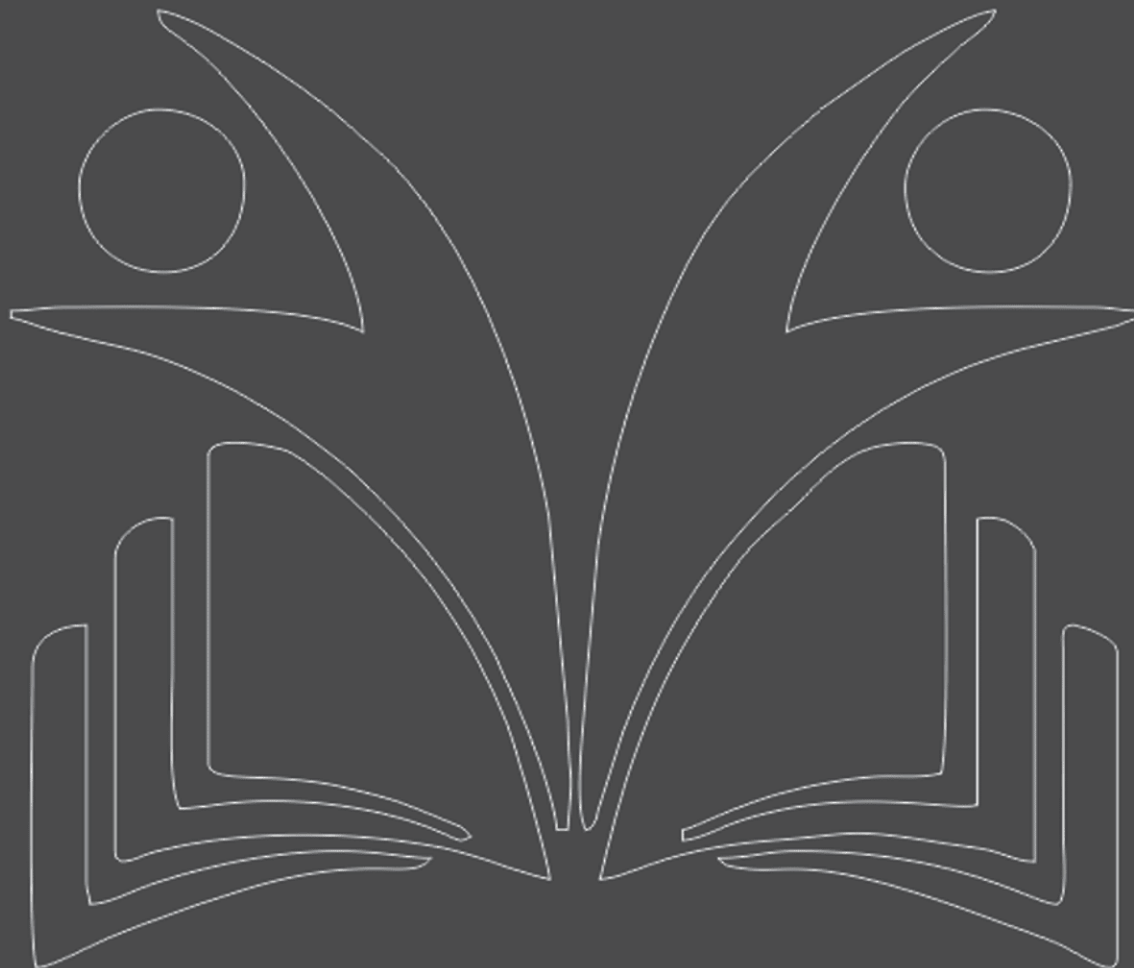


10.37423/220205314

## VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE AGREGADOS RCC EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO NO DISTRITO FEDERAL

MARUSKA LIMA DE SOUSA HOLANDA

Universidade de Brasília



**Resumo:** A indústria da construção civil, além de gerar cerca de 60% dos resíduos sólidos urbanos, também é responsável pela disposição final de forma insustentável, mesmo passados dez anos da implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). No caso do Distrito Federal, os dados são mais alarmantes ainda, pois a geração de resíduos da construção civil (RCC) é 30% maior do que a média nacional de 0,50 ton./hab. por ano. Viabilizar o uso sustentável dos agregados de RCC é preponderante dentro deste cenário, o que justifica ser o principal objetivo da pesquisa, especificamente, em obras de pavimentação pela facilidade em atender requisitos normativos. Desta forma, foram colhidas amostras de agregados de RCC classe A: pó de brita, brita 0, 1 e 2, em indústria de reciclagem do DF e realizadas misturas com 20:80; 30:70 e 40:60 de agregado RCC e argila, respectivamente. Os ensaios em laboratório levaram a resultados favoráveis e comprovaram que, em qualquer uma das misturas e das granulometrias, é admitido uso em camadas de subleito e de sub-base, exceto a mistura 20:80 para sub-base de pavimentos urbanos. Diante desses resultados, concluiu-se que é viável, tecnicamente, a mudança do cenário atual, pois o uso de agregado de RCC em pavimentos urbanos pode ser um grande passo para início de ações sustentáveis na indústria da construção civil no DF.

**Palavras-Chave:** *pavimentação, sustentabilidade, resíduos sólidos, construção civil.*

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil desempenha um importante papel no desenvolvimento das cidades. Segundo dados de 2015 da Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC, trata-se do setor que mais influencia a economia de um país, gerando empregos diretos e indiretos. Na visão de Karpinski et al [1], é o setor de maior responsabilidade na garantia da infraestrutura necessária ao desenvolvimento do país.

Em contrapartida, Santos et al [2] ressaltam que a construção civil é o setor que mais consome recursos naturais, utilizando em torno de 50% de tudo aquilo que é extraído mundialmente, pois, somente na produção de concreto e de argamassa, são empregados cerca de 220 milhões de ton./ano de agregados naturais: britas e areais, o que contribui para o esgotamento precoce das jazidas e reservas naturais do planeta.

Segundo o Compromisso Empresarial pela Reciclagem (CEMPRE) e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), o desenvolvimento do setor construtivo desencadeia, além de uma alta demanda por matérias-primas, um elevado índice de geração de resíduos da construção civil (RCC), sendo, em primeiro lugar, as obras particulares e, em segundo, as obras públicas os maiores geradores de resíduos no Brasil [3].

Diante da grande produção de resíduos, a reciclagem da fração mineral de resíduos da construção civil é vista como uma potencial fonte de geração de agregados, pois, além de proporcionar o reaproveitamento dos resíduos, também diminui a dependência de agregados naturais, o que contribui para a preservação dos recursos naturais, vez que, segundo Brito Filho [4], a cadeia produtiva da construção civil consome entre 14% e 50% dos recursos naturais extraídos no mundo.

Os diversos setores da construção civil geram grande quantidade de resíduos que tem, na maioria das vezes, como destinação final, o descarte no meio ambiente. Estes resíduos sobrecarregam a natureza à medida que a produção de rejeitos é muito maior que a capacidade de absorção do meio ambiente. Além disso, causam diversos impactos econômicos e sociais negativos [5].

No Brasil, os RCC também representam elevadas proporções da massa dos resíduos sólidos urbanos: variam de 51% a 70%. Essa grande massa de resíduos, quando mal gerenciada, interfere negativamente na qualidade da vida urbana, sobrecarrega os serviços de limpeza pública e reforça, no país, a desigualdade social, uma vez que escassos recursos públicos são continuamente drenados para

pagar a conta da coleta, transporte e disposição de resíduos depositados irregularmente em áreas públicas, conta essa que, na realidade, é de responsabilidade dos geradores [6].

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela [Lei Federal nº 12.305](#)[A1] em 2010, dispôs diretrizes à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos, com incentivo à reciclagem e ao tratamento dos resíduos sólidos até a disposição final, ambientalmente adequada, dos rejeitos [7] e estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços; e a adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais, o que representa uma relevante contribuição para ações sustentáveis na construção civil é minimizar a produção de agregados naturais.

Uma das alternativas que alguns países vêm adotando para reduzir a utilização de agregados naturais é a aplicação de agregados provenientes de resíduos da construção civil (RCC) em camadas de pavimentos urbanos [8-10]. As experiências já consolidadas no Brasil corroboram para viabilidade de uso adequado em vias urbanas [11] e em rodovias [12]. Todavia, as pesquisas comprovam que os agregados de RCC desempenham melhores resultados laboratoriais quando misturados a agregados naturais em proporções diversas: 15%/85% (RAP/RCC) e 40%/60% (RCC/natural).

Segundo ZHIQING [13], os estudos realizados em Omã, baseados em ensaios laboratoriais nos USA, comprovam que agregados de RCC na proporção 40%/60% (RCC/natural) obtiveram resultados de densidade seca e CBR ideais para uso em camadas de base de pavimentação urbana. Adicionalmente, ARULRAJAH [9] realizou ensaios de campo em vias urbanas na Austrália e comprovou que o uso de 100% de agregado de asfalto fresado (RAP) em camadas de base de pavimentos resultou em resistência insuficiente. Contudo, ensaios laboratoriais com misturas de asfalto fresado (RAP) e com RCC indicaram que a melhor combinação para uso em base de pavimentação é 15%/85% (RAP/RCC).

No Distrito Federal (DF), o uso de agregados reciclados provenientes da construção civil (RCC) ainda não é significativo, passados mais de nove anos da PNRS. Segundo relatórios do Serviço de Limpeza Urbana (SLU) [14], foram implantados controles de coleta, de transporte e de disposição dos resíduos RCC. Porém, ainda não existem políticas efetivas implantadas para beneficiamento e reuso desses resíduos, de forma a completar a hierarquia sustentável da PNRS.

Acredita-se que uma das dificuldades encontradas para tomada de decisão quanto ao uso de agregados de RCC no DF é a falta de parâmetros regionais para definição de critérios de aplicação desses materiais. Logo, pesquisas nessas áreas muito contribuem e podem confirmar o potencial uso

desses resíduos em diversas áreas da engenharia, em especial nas camadas do sistema de pavimentação

No momento, existe uma única empresa que possui licença ambiental e autorização para recebimento e tratamento de resíduos da construção civil no Distrito Federal, com produção de agregados recicláveis. O objetivo da pesquisa é avaliar se tais agregados atendem as características e granulometria normativas da ABNT com a finalidade de utilização em camadas de pavimentos urbanos, a partir de ensaios em amostras de agregados obtidas pelo Laboratório de Solos do Departamento de Estradas e Rodagem do Distrito Federal.

## 2. DESENVOLVIMENTO

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), publicou a Resolução nº 307[A2] em 2002, que define e estabelece regras para tornar viável a destinação sustentável dos resíduos provenientes da construção civil, a fim de prover a gestão adequada, o manejo correto e o uso potencial desses resíduos [15].

A ABNT NBR 15114:2004 [16] define que o agregado reciclado é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentam características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, de aterros sanitários ou outras obras de engenharia.

Assim, o Comitê Brasileiro de Construção Civil (CB-02) e o Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados (CB-18) definiram normas para atendimento aos limites estabelecidos aos agregados de resíduos sólidos da construção civil, vez que há sérias e crescentes restrições ambientais quanto a exploração de agregados naturais.

No caso de uso de agregados de RCC em camadas de pavimento urbano, os resíduos sólidos de construção civil deverão ser classificados na Classe “A” da Resolução nº 307/2002 do CONAMA, cuja abrangência é:

- a) Resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- b) Resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- c) Resíduos de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.

Desta forma, as amostras de agregado de RCC colhidas na empresa MARTINS AMBIENTAL correspondem aos agregados classificados como Classe “A”, ou seja, são: pó de brita, brita 0 e brita 1.

## 2.1 METODOLOGIA

De acordo com as determinações da norma ABNT NBR 15116:2004 [17], as amostras de agregado de RCC foram colhidas no pátio de produção da empresa MARTINS AMBIENTAL pelos funcionários do Departamento de Estradas e Rodagem - DER, especializados na área tecnológica do Núcleo de Laboratório de Solos do DER, com intuito de preparação de misturas nas proporções de 00, 20, 30 e 40% para cada um dos agregados pó de brita, brita 0 e brita 1 de material reciclado como descrito na Tabela 1.

As amostras foram submetidas aos ensaios de caracterização de agregado com o objetivo de uso em camadas de pavimentação de acordo com a Tabela 2.

Além disso, os resultados das 10 amostras ensaiadas foram comparados aos limites estabelecidos nos requisitos de norma para uso dos agregados de RCC em pavimentação, conforme Tabela 3.

Tabela 1 – Preparação de amostras e misturas do material da empresa Martins Ambiental para realização de ensaios de caracterização dos agregados de RCC para uso em pavimentação

Amostra	Mistura 1		Mistura 2		Mistura 3		Mistura 4
	Argila	Pó de brita	Argila	Brita 0	Argila	Brita 1	Argila
01	80%	20%					
02	70%	30%					
03	60%	40%					
04			80%	20%			
05			70%	30%			
06			60%	40%			
07					80%	20%	
08					70%	30%	
09					60%	40%	
10							100%

Tabela 2 – Ensaios para caracterização de agregado de RCC para uso em pavimentação [17]

Propriedades	Método de ensaio
Composição granulométrica	ABNT NBR 7181:1984
Índice de forma (agregado graúdo)	ABNT NBR 7809:1983
Índice suporte Califórnia e expansibilidade	ABNT NBR 9895:1987
Composição do agregado graúdo	ABNT NBR 15116:2004 Anexo A



Tabela 3 – Requisitos para agregado reciclado destinado a pavimentação [17]

Aplicação	ISC (CBR) (%)	Expansibilidade (%)	Energia de compactação
Material para reforço de subleito	$\geq 12$	$\leq 1$	normal
Material para revestimento primário e sub-base	$\geq 20$	$\leq 1$	intermediária
Material para de base de pavimento (1)	$\geq 60$	$\leq 0,5$	Intermediária ou modificada
Dimensão máxima característica	$\leq 63$ mm	Material passante na peneira de 0,42 mm	10% a 40%

## 2.2 DISCUSSÕES E RESULTADOS

Os ensaios normativos foram realizados nas 10 amostras cujos resultados estão apresentados nas Tabelas 4, 5, 6 e 7.

Tabela 4 – Resultados das amostras das misturas de argila e pó de material usinado de construção civil – RCC

Amostra 01 - argila com 20% de pó de material usinado de construção civil				
Pedregulho %	Areia %	Finos %	ISC %	Expansibilidade %
3,8	32,8	63,4	13,7	0,00
Amostra 02 - argila com 30% de pó de material usinado de construção civil				
Pedregulho %	Areia %	Finos %	ISC %	Expansibilidade %
3,2	41,4	55,4	19,4	0,00
Amostra 03 - argila com 40% de pó de material usinado de construção civil				
Pedregulho %	Areia %	Finos %	ISC %	Expansibilidade %
9,8	45,5	44,7	30,0	0,00

Tabela 5 – Resultados das amostras das misturas de argila e brita 0 de material usinado de construção civil – RCC

Amostra 04 - argila com 20% de brita 0 de material usinado de construção civil				
Pedregulho %	Areia %	Finos %	ISC %	Expansibilidade %
20,5	19,0	60,6	14,0	0,00
Amostra 05 - argila com 30% de brita 0 de material usinado de construção civil				
Pedregulho %	Areia %	Finos %	ISC %	Expansibilidade %
38,3	13,4	48,3	25,3	0,04
Amostra 06 - argila com 40% de brita 0 de material usinado de construção civil				
Pedregulho %	Areia %	Finos %	ISC %	Expansibilidade %
39,8	10,8	49,3	30,3	0,03

Tabela 6 – Resultados das amostras das misturas de argila e brita 1 de material usinado de construção civil - RCC

Amostra 07 - argila com 20% de brita 1 de material usinado de construção civil				
Pedregulho %	Areia %	Finos %	ISC %	Expansibilidade %
20,4	14,8	64,8	17,1	0,00
Amostra 08 - argila com 30% de brita 1 de material usinado de construção civil				
Pedregulho %	Areia %	Finos %	ISC %	Expansibilidade %
30,0	9,9	60,0	21,9	0,00
Amostra 09 - argila com 40% de brita 1 de material usinado de construção civil				
Pedregulho %	Areia %	Finos %	ISC %	Expansibilidade %
39,7	10,6	49,7	20,1	0,00

Tabela 7 – Resultados da amostra de 100% de argila

Amostra 10 - 100% com argila				
Pedregulho %	Areia %	Finos %	ISC %	Expansibilidade %
0,0	20,0	80,0	17,8	0,03

Os resultados apresentados acima, das 10 amostras, levando em consideração os limites propostos nas Tabelas 2 e 3, foram organizados na Tabela 8.

A partir dos dados constantes na tabela 8, pode ser constatado:

- Em todas as proporções: 0%, 20%, 30% e 40% de material usinado de RCC e também em 100% de argila, ou seja, nas 10 amostras, o material poderá ser utilizado em camadas de subleito de pavimentação, pois o ISC é maior que 12%, variando de 13,7 a 30,0% e a expansibilidade é 0%;
- As amostras que utilizaram misturas com menor proporção de pó de brita de material usinado de RCC, amostras 1 e 2, não atendem ao uso em camadas de sub-base de pavimentos (ISC menor que 20%). Somente a amostra de mistura com maior proporção de pó de brita, com proporção de 40% de pó e 60% de argila (ISC 30%) atende a camada de sub-base de pavimento, porém não atende ao uso em camada de base de pavimento;
- As amostras que utilizaram misturas com 30 e 40% de brita 0 de material usinado de RCC e 70% e 60%, respectivamente, de argila atendem ao uso em camadas de sub-base de pavimento (ISC 25,3 e 30,3%, respectivamente. Contudo, não atendem ao uso em camadas de base de pavimentação;
- Da mesma forma, as amostras que utilizaram 30 e 40% de brita 1 de material usinado de construção civil e 70% e 60%, respectivamente, de argila atendem ao uso em camadas de sub-base de pavimento (ISC 21,9 e 20,1% respectivamente, mas não atendem ao uso em camadas de base de pavimento;
- Em nenhuma das proporções das 10 amostras ensaiadas, o material poderá ser utilizado em base de pavimentação;

- f) A maior proporção de pó e brita 0 do material usinado, resultou em melhor mistura para uso em pavimentação, pois ISC são maiores que 30%;
- g) Os melhores resultados foram obtidos com as misturas de brita 0 e argila, pois os ISC são maiores: 14,0; 25,3; e 30,3%;
- h) Os piores resultados das amostras foram obtidos com proporção de 20% de material usinado e 80% de argila, ou seja, de menor proporção de material de RCC, pois ISC de 13,7 a 17,1%.

Tabela 8 – Resumo dos resultados das 10 amostras de acordo com os requisitos de norma ABNT NBR 15116:2004

Amostra	Mistura 1		Mistura 2		Mistura 3		Mistura 4	Resultados de acordo com requisitos de norma (%)		
	Argila	Pó de brita	Argila	Brita 1	Argila	Brita 2	Argila	ISC (CBR)	Expansibilidade	Proporção agregado maior dimensão
01	80%	20%						13,7%	0,00%	3,8% pedregulho
02	70%	30%						19,4%	0,00%	3,2% pedregulho
03	60%	40%						30,0%	0,00%	9,8% pedregulho
04			80%	20%				14,0%	0,00%	20,5% pedregulho
05			70%	30%				25,3%	0,04%	38,3% pedregulho
06			60%	40%				30,3%	0,03%	39,8% pedregulho
07					80%	20%		17,1%	0,00%	20,4% pedregulho
08					70%	30%		21,9%	0,00%	30% pedregulho
09					60%	40%		20,1%	0,00%	39,7% pedregulho
10							100%	17,8%	0,03%	0% pedregulho

### 3. CONCLUSÃO

Todas as misturas ensaiadas com agregados de material usinado atenderam os requisitos mínimos para uso em camadas de pavimentação urbana, conforme tabelas 1 e 2, ou seja, com ISC maior que 12%, expansibilidade menor que 0,5%, dimensão máxima menor que 63 mm e material passante na peneira 0,42mm no intervalo de 10 a 40%.

Desta forma, conclui-se que o objetivo da pesquisa foi atendido pois, a realização de ensaios de caracterização dos agregados de material usinado da construção civil produzidos na empresa MARTINS AMBIENTAL trouxe resultados que corroboram com as experiências já consolidadas em outras cidades e países quanto a viabilidade de uso adequado de agregados reciclados em camadas de pavimentação em obras urbanas [18].

Além disso, o fato de não haver tradição no tratamento de materiais provenientes de demolições da construção civil e no uso em camadas de pavimentação no Distrito Federal, o fato de uma empresa

produzir agregados recicláveis que atendem aos requisitos mínimos da ABNT, sinaliza um avanço que, com certeza, contribuirá na formatação de políticas públicas que incentivem a utilização desses materiais em obras de infraestrutura da cidade.

Contudo, é necessário melhoria no tratamento e maior controle das características técnicas de agregados recicláveis produzidos no DF a fim de incrementar uso adequado nas diversas camadas de pavimento, já que para utilização em camadas de sub-base e base, as exigências são maiores e requer maior controle tecnológico na produção.

A continuidade de pesquisas no âmbito de avaliação de agregados recicláveis produzidos no Distrito Federal e seus arredores para obtenção de misturas que melhorem o atendimento aos requisitos normativos é imprescindível para que os objetivos da política nacional de resíduos sólidos do país sejam atingidos, ou seja, redução do uso de agregados naturais e substituição dos mesmos por agregados recicláveis.

### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao diretor superintendente e aos profissionais do Núcleo de Laboratório de Solos do Departamento de Estradas e Rodagem – DER/DF pela colaboração na realização de coleta de material e de ensaios das misturas com o material usinado no pátio da empresa MARTINS AMBIENTAL. Agradecemos também o fornecimento de agregados recicláveis pela empresa MARTINS AMBIENTAL.

## REFERÊNCIAS

- [1] Karpinsk, L. A.; Pandolfo, A.; Reinehr, R.; Kurek, J.; Pandolfo, L.; Guimarães, J. Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental. Disponível em: World Wide Web: [HTTP://www.pucrs.br/orgaos/edipucrs/ISBN 978-85-7430-843-2](http://www.pucrs.br/orgaos/edipucrs/ISBN%20978-85-7430-843-2), Acesso em: 28.02.2020.
- [2] Santos, M. F. N.; Battistelle, R. A. G.; Hori, C. Y.; Julioti, P. S. GEPROS – Gestão da Produção, Operações e Sistemas 2, Bauru, São Paulo, p. 57, 2011.
- [3] CEMPRE & IPT, Lixo Municipal: Manual de Gestão Integrada de Resíduos, São Paulo, 4ª. Edição, 2018.
- [4] Brito Filho, J. A. Cidades versus entulhos. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., São Paulo, 1999.
- [5] Gomes, C. F.; Nunes, K. R.; Xavier, L. H.; Cardoso, R.; Valle, R. Multicriteria Decision Making Applied to Waste Recycling in Brazil. Omega, 36 (3). 395-404, 2008.
- [6] Correa, B., Cursino, D., & Silva, G. Viabilidade de Implantação de uma Usina de reciclagem da Construção Civil na Cidade de São José dos Campos / SP. XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, pp.1-6, 2011.
- [7] BRASIL, Lei Federal nº12.305. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Publicado no DOU, seção 1, p. 3-7, 2010.
- [8] Puppala, A. J.; Saride, S.; Williammee, R. Sustainable Reuse of Limestone Quarry Fines and RAP in Pavement Base/Subbase Layers. Journal of Materials in Civil Engineering, Vol.24, pp.418-429, 2012.
- [9] Arulrajahi, A.; Piratheepan, J.; Disfani, M. M. Reclaimed Asphalt Pavement and Recycled Concrete Aggregate Blends in Pavement Subbases: Laboratory and Field Evaluation. Journal of Materials in Civil Engineering, Vol.26(2), pp.349-357, 2013.
- [10] Xuan, D. X.; Molenaar, A. A. A.; Houben, L. J. M. Evaluation of Cements Treatment Recycled Construction Demolition Waste as Road Bases. Journal of Cleaner Production, 100, 77-83, 2015.
- [11] Bernucci, L. B.; Motta, L. M.; Goretti, C.; Pereira, J. A.; Soares, J. B. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro. PETROBRAS: ABEDA, 2006.
- [12] Reis, B. V. S.; Scalabrin, A. P. C.; Oliveira, L. C.; Lima, J. B. Utilização de Resíduos de Construção e Demolição na Pavimentação Rodoviária. 23º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2008.
- [13] ZHIQING Zhang; BOZHAO, Shen; HUI, Ren; JIN, Wang; SHIYUN, Li; HAO, Liu. The Variability and Evaluation Method of Recycled Concrete Aggregate Properties. Advances in Materials Science & Engineering, pp.1-9. 2017.
- [14] SERVIÇO DE LIMPEZA URBANA DO DISTRITO FEDERAL. Relatório dos Serviços de Limpeza Urbana e Manejo dos Resíduos Sólidos do Distrito Federal, de janeiro a setembro de 2018. Brasília, 2018.

[15] BRASIL, CONAMA, RESOLUÇÃO Nº 307 - Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, de 5 de julho de 2002, publicada no DOU nº 136, pp. 95-96, 2002.

[16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15114: Resíduos sólidos da construção civil – áreas de reciclagem – diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

[17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15116. Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

[18] BENUCCI, L. L. B., ABDOL, M. R. Pavimento ecológico: uma opção para pavimentação de vias das grandes cidades. researchgate.net, São Paulo, 2007.