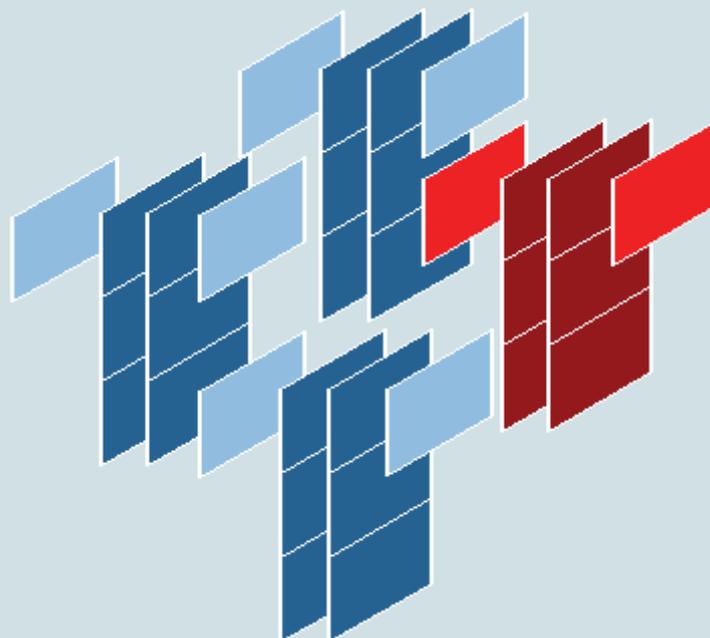


ISSN 1518-9082

# Boletim Técnico

da Faculdade de Tecnologia de São Paulo



**BT/43**

São Paulo – **Junho/2017**

**CEETEPS**

Centro Estadual de Educação Tecnológica "Paula Souza"  
Governo do Estado de São Paulo

**Conselho Editorial**

**Diretora da FATEC-SP**

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Luciana Reyes Pires Kassab

**Vice-Diretor da FATEC-SP**

Prof. Dr. Juarez Antonio Delibo

**Editor Presidente**

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Regina Maria Ricotta

**Corpo editorial**

Prof. Dr. Eduardo Acedo Barbosa

Prof<sup>a</sup>. Me. Elizabeth Neves Cardoso

Prof. Dr. Marcelo Bariatto Andrade Fontes

Prof. Dr. Milton Silva da Rocha

Prof. Dr. Silvio do Lago Pereira

Prof. Dr. Francisco Tadeu Degasperi

**Edição Web: CEPE - Centro de Pesquisa - FATEC/SP**

O Boletim Técnico é uma publicação da FATEC/SP para divulgação de trabalhos científicos e tecnológicos realizados por docentes e discentes das FATECs nas áreas dos cursos: Análise e Desenvolvimento de Sistemas; Automação de Escritórios e Secretariado; Edifícios; Eletrônica Industrial; Gestão de Turismo; Gestão Empresarial EAD; Hidráulica e Saneamento Ambiental; Instalações Elétricas; Materiais; Microeletrônica; Mecânica de Precisão; Movimento de Terra e Pavimentação; Processos de Produção; Projetos e Soldagem.

Regras, normas e submissão *on-line* encontram-se no endereço: <http://bt.fatecsp.br>

Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC/SP

Praça Coronel Fernando Prestes, 30

01124-060 São Paulo, SP

Contato: [boletimtecnico@fatecsp.br](mailto:boletimtecnico@fatecsp.br)

**BOLETIM TÉCNICO DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO**  
**VOLUME 43 – JUNHO/2017**

**SUMÁRIO**

<b>AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE VIDROS ALUMINOSSILICATOS CONTENDO HÓLMIO</b> <i>Eraldo C. Barros Filho, Frank Ferrer Sene, José Roberto Martinelli.....</i>	<b>1</b>
<b>AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO CONCRETO ASFÁLTICO MISTURADO A FRIO EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DO TEMPO DE CURA DA EMULSÃO</b> <i>Josué Alves Roso, Deise Dias do Nascimento Machado, Rafael Henrique Freire de Godoy, Felipe Alves Torello Viera, Gabriela Neves Luiz.....</i>	<b>5</b>
<b>IMPLEMENTAÇÃO DE CLASSIFICAÇÃO BAYESIANA</b> <i>Gabriela Silva de Oliveira, Silvio do Lago Pereira.....</i>	<b>10</b>
<b>LabLog: UM LABORATÓRIO VIRTUAL DE LÓGICA</b> <i>Guilherme Vaz França Reis, Silvio do Lago Pereira.....</i>	<b>16</b>
<b>METODOLOGIA PARA ESTUDO E ANÁLISE DE DADOS DE ACELERAÇÃO EM UM PLANO INCLINADO OBTIDOS ATRAVÉS DA PLATAFORMA ARDUINO 101</b> <i>Enrico Ceroblo Nadeo, Marcos Norio Watanabe, Milton Silva da Rocha.....</i>	<b>22</b>
<b>TECNOLOGIA ASSISTIVA PRÓTESES E EQUIPAMENTOS DE MOBILIDADE</b> <i>Carlos Rezende de Menezes.....</i>	<b>26</b>
<b>UM ESTUDO SOBRE COMBINAÇÕES LEXICAIS ENVOLVENDO INSTALAÇÕES NA ÁREA DE HOTELARIA</b> <i>José Roberto Lourenço.....</i>	<b>31</b>
<b>VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM CAMADAS DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS</b> <i>Josué Alves Roso, Deise Dias do Nascimento Machado, Rafael Henrique Freire de Godoy, Thiago Lopes da Rocha.....</i>	<b>35</b>



# AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE VIDROS ALUMINOSSILICATOS CONTENDO HÓLMIO

Eraldo C. Barros Filho<sup>1</sup>, Frank Ferrer Sene<sup>2</sup>, José Roberto Martinelli<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Prof. Dr. da FATEC-SP

<sup>2</sup> Prof. Dr. do Centro Tecnológico da Marinha do Brasil

<sup>3</sup> Prof. Dr. do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (in memoriam)

e-mail [eraldo.barros@fatecsp.br](mailto:eraldo.barros@fatecsp.br), [frank.sene@ctmsp.mar.mil.br](mailto:frank.sene@ctmsp.mar.mil.br)

## Resumo

O tratamento do carcinoma hepatocelular ou câncer de fígado primário é um desafio terapêutico. Uma vez que o crescimento dos nódulos ocorre de modo lento e assintomático, levando a um diagnóstico tardio, somente 10 a 15% dos pacientes são elegíveis aos métodos de tratamento convencional, tais como a cirurgia. Tratamentos alternativos são necessários para os pacientes inoperáveis e a radioterapia interna seletiva é uma opção. Nesta terapia, microesferas contendo um radionuclídeo em sua estrutura são inseridas por meio de um cateter na artéria hepática e migram até o fígado, apresando-se nas arteríolas que alimentam o tumor. As células cancerosas são aniquiladas devido ao bloqueio da alimentação e à deposição de dose de radiação. Neste trabalho, foram produzidos vidros aluminossilicatos contendo hólmio para produção de microesferas para esta aplicação e foram avaliadas as propriedades físicas e químicas dos vidros obtidos visando à aplicação em radioterapia interna seletiva.

## 1. Introdução

A radioterapia interna seletiva, técnica radioterápica localizada que utiliza microesferas para o tratamento do carcinoma hepatocelular, faz uso do <sup>90</sup>Y como radionuclídeo emissor β<sup>-</sup> puro. Resultados satisfatórios já foram alcançados [1-4], porém o uso do <sup>90</sup>Y apresenta algumas limitações como a impossibilidade de obtenção de imagens, sendo necessário utilizar para tal fim um macroagregado de albumina marcado com tecnécio (<sup>99m</sup>Tc-MAA) para simular as microesferas. O imageamento do tumor é importante a fim de verificar o “desvio para o pulmão” (lung shunt) e determinar os pacientes selecionáveis para submissão desta técnica e também para avaliação da biodistribuição da dose terapêutica no tecido lesionado [5]. A substituição do <sup>90</sup>Y pelo <sup>166</sup>Ho como radionuclídeo presente na composição do vidro evitaria esta limitação, pois, além do hólmio possuir todas as propriedades desejáveis para aplicação desta terapia (meia vida relativamente curta, Energia β > 1MeV, seção de choque alta de 64b), ele também é altamente paramagnético e é emissor concomitante β<sup>-</sup> e γ, possibilitando imagens por tomografia computadorizada por emissão de fótons e por ressonância magnética [6]. Microesferas poliméricas contendo hólmio foram desenvolvidas e mostraram

resultados promissores [7-10]. O desenvolvimento de microesferas de vidro contendo hólmio traria algumas vantagens em relação às poliméricas como maior estabilidade mecânica e química, maior resistência à radiólise e simplicidade no processo de produção. Neste trabalho, foram produzidos vidros contendo hólmio e foram avaliadas as propriedades físicas e químicas destes vidros, utilizando-se espectrometria de fluorescência de raios X (EDX) e difração de raios X (DRX). Foram determinadas a densidade e a viscosidade destes vidros e foram realizados testes de durabilidade química em água destilada.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1 Materiais

Vidros aluminossilicatos contendo hólmio foram produzidos a partir da fusão de misturas de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, MgO e Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Quatro amostras foram produzidas contendo 0, 5%, 25% e 37% em massa de Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e com composições estequiométricas respectivamente iguais a: (100-x-y-z)SiO<sub>2</sub>.(x)Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.(y)MgO.(z)Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (x= 10, 9.5, 9, 7 ; y= 40, 35.8, 35; z= 0, 1, 6, 8)% mol baseadas no diagrama de fase ternário da figura 1.

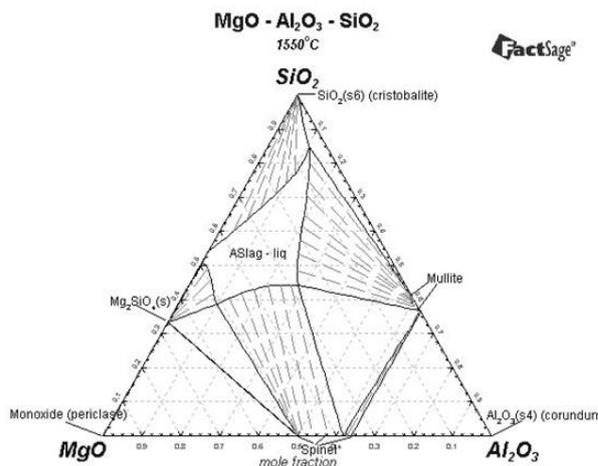


Figura 1: Diagrama de fase a 1550°C de MgO – SiO<sub>2</sub> – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [11]

Essas amostras foram chamadas de ASHo\_0%, ASHo\_5%, ASHo\_25% e ASHo\_37%, conforme o teor, em massa, de Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adicionado, respectivamente. A mistura do material de partida foi realizada durante 20

minutos com o auxílio de um pistilo e gral de vidro silicato e a fusão foi realizada em um forno elétrico (Lindberg modelo Blue M) com taxa de aquecimento de 10°C/min até a temperatura final de 1550°C, utilizando-se um cadinho de alumina. O líquido foi mantido nesta temperatura durante 2 horas para homogeneização e afinagem, e agitado a cada 30 minutos usando uma barra de sílica. O líquido foi vertido em moldes de aço inoxidável, obtendo-se barras solidificadas com dimensões de 10x10x50mm<sup>3</sup>. Estas barras foram recozidas à temperatura de 770°C para alívio das tensões e cortadas (para testes de durabilidade química) e maceradas e moídas em um moinho vibratório com esfera de tungstênio (Pulverizette) para as demais análises. Peneiras de aço inoxidável (Abbronzinox) foram utilizadas para a separação das partículas na faixa granulométrica entre 45µm < Φ < 63µm.

## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Viscosidade

A curva de viscosidade em função da temperatura foi obtida através da técnica de prolongamento de fibras. Fibras de vidro foram obtidas por puxamento manual e estas foram inseridas em um forno tubular (Gold Furnace Thermcraft) em uma zona quente de 20 cm com temperatura aproximadamente constante e submetidas a uma carga de 0,196 N. Foram analisadas na faixa de 825°C até 920°C, com intervalos de 10°C.

### 2.2.2 Espectrometria de fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDX)

A análise química das amostras foi realizada por espectrometria de fluorescência de raios X por energia dispersiva, utilizando-se um aparelho Shimadzu modelo EDX-720. As amostras foram analisadas em vácuo na forma de pó e os colimadores utilizados possuíam diâmetro de 5mm e 10mm. Um filme de polipropileno de 5µm de espessura foi utilizado durante a realização das medidas. Foram obtidas cinco análises e o resultado foi considerado a média dos mesmos.

### 2.2.3 Determinação da densidade

A densidade das amostras foi determinada utilizando-se o método de picnometria a gás hélio (Quantachrome model ultrapycnometer 1000). A pressão submetida foi de 17 psi e a massa analisada era de 1,4g para todas as amostras. Foram realizadas 10 análises e o resultado foi considerado a média dos mesmos.

### 2.2.4 Difração de raios X

As amostras foram analisadas em um difratômetro Rigaku modelo multiflex, fazendo-se uso do método do pó. A radiação utilizada para análise foi CuKα, a tensão de 40 kV e corrente elétrica de 20mA. Os ângulos varridos foram de 10° até 90° (velocidade 2° / min).

## 2.2.5 Teste de Durabilidade Química

Foram analisadas 3 amostras com dimensões de 0,1x1x1cm<sup>3</sup> preparadas a partir de barras de vidros previamente recozidas à 770°C, cortadas em uma cortadora isomet modelo 1000, utilizando-se um disco de diamante mantido em banho de um agente refrigerante (água destilada) e, posteriormente, foram lixadas progressivamente com lixas de carvão de silício com granulação 240 e 420 mesh. As amostras foram imersas em um extrator soxhlet conectado a um condensador de bolas e a um balão Pyrex contendo 100 ml de água destilada e mantidas a 90°C por uma manta elétrica no período de 14 dias. A massa das amostras foi determinada nos intervalos de 1, 3, 7 e 14 dias.

A taxa de dissolução, D<sub>R</sub>, foi calculada utilizando-se a equação abaixo:

$$D_R = \Delta W / A \cdot t \quad (1)$$

onde A é a superfície total da amostra (cm<sup>2</sup>), t o tempo (dia) em que a amostra permanece imersa na solução a 90°C e ΔW é a diferença de massa entre a massa inicial (g) e a massa no tempo t (g). O ensaio foi baseado na norma MCC-1P.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 Viscosidade

A viscosidade em função da temperatura foi determinada para as amostras ASHo\_5%, ASHo\_25% e ASHo\_37%. Na figura 2 é mostrado o log da viscosidade em função da temperatura.

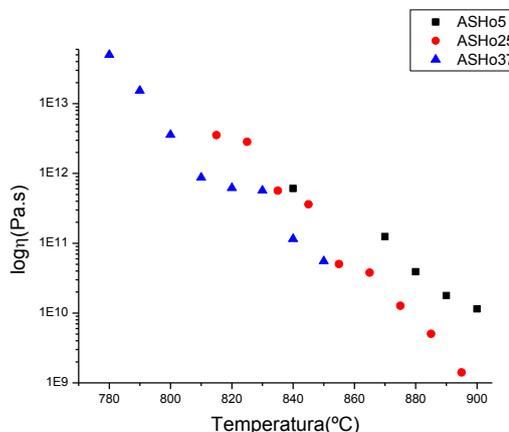


Figura 2: Log da viscosidade em função da temperatura de vidros aluminossilicatos contendo hólmio.

As viscosidades destes vidros são altas comparadas a outros sistemas vítreos como borossilicatos ou fosfatos, correspondendo ao tipo de ligação química entre os tetraedros formados pelo oxigênio, silício e alumínio. Notou-se que o aumento da quantidade de óxido de hólmio presente no vidro diminui sua viscosidade, o que pode estar relacionado com as quebras de ligações cross-over propiciadas pelo aumento do óxido de hólmio.

### 3.2 Espectrometria de fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDX)

As análises das composições químicas dos vidros estudados foram realizadas por espectrometria de fluorescência de raios X. Na Tabela I são mostrados os valores encontrados:

Tabela I: Composição química dos vidros obtidos por EDX (%massa)

Componente	ASHo 0%	ASHo 5%	ASHo 25%	ASHo 37%
SiO <sub>2</sub>	61,8 (6)	54,2 (8)	41,5 (9)	33,3 (7)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,2 (5)	19,7 (3)	17,2 (9)	14,5 (8)
MgO	15,7 (6)	17,1 (5)	17,18(26)	14,20(11)
Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	7,5(1,2)	19,8 (4)	32,8 (7)
Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0,94(18)	1,2 (3)	2,03 (9)
CaO	0,3 (3)	0,31 (7)	0,57 (14)	0,183(16)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,030(10)	0,16(12)	-	-
Na <sub>2</sub> O	-	-	2,4 (7)	2,99 (14)

A diminuição da quantidade de Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub> em relação à composição nominal nas amostras ASHo 25% e ASHo 37% deve-se à presença de impurezas neste componente como Na<sub>2</sub>O e Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Nota-se uma diferença entre a composição nominal e a real, devido, provavelmente, à vaporização dos reagentes, à interação do material de partida com o cadinho ou à alta higroscopicidade dos materiais precursores.

### 3.3 Difração de raios X

Foram realizadas análises de difração de raios X e os resultados encontrados estão reportados na figura 3:

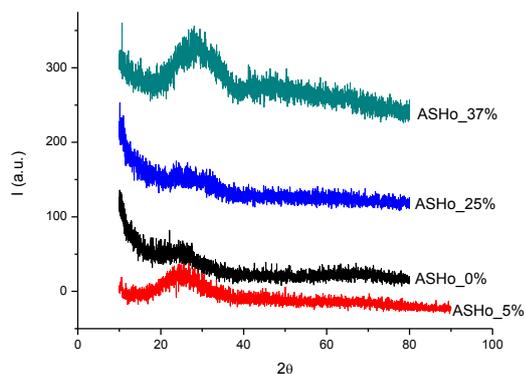


Figura 3: Difração de raios X dos vidros contendo hólmio.

Não foram observados picos de cristalização em nenhuma das amostras do vidro estudado. A cristalização deve ser evitada, pois, em geral, materiais vítreos apresentam durabilidade química superior aos materiais cristalinos de mesma composição e a formação de regiões cristalinas poderia originar defeitos mecânicos nas microesferas.

### 3.4 Densidade dos vidros

Os valores de densidade dos vidros são mostrados na Tabela II.

Tabela II: Densidade dos vidros

Vidro	Densidade(g/cm <sup>3</sup> )
ASHo 0%	2,69 (3)
ASHo 5%	2,71 (12)
ASHo 25%	3,20 (8)
ASHo 37%	3,92 (3)

Nota-se o aumento da densidade dos vidros na medida em que se aumenta a quantidade de Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contido na estrutura do vidro. Esse aumento está relacionado à massa atômica do elemento Ho. Os valores encontrados são bastante promissores, pois se assemelham aos valores de densidade dos vidros utilizados na produção das tradicionais microesferas vítreas, que contêm <sup>90</sup>Y fabricadas pela empresa canadense Nordion.

### 3.5 Teste de Durabilidade Química

A durabilidade química dos vidros foi avaliada por testes de lixiviação e o resultado está mostrado na figura 4 e na tabela III.

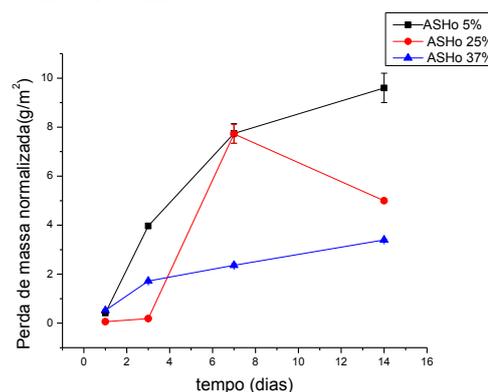


Figura 4: Perda de massa normalizada em função do tempo.

Tabela III: Taxa de dissolução de vidros aluminossilicatos contendo hólmio em função do tempo de imersão à 90°C.

t(dia)	Dr(g/cm <sup>2</sup> .min)		
	ASHo 5%	ASHo 25%	ASHo 37%
1	6,2 (0,2)x10 <sup>-7</sup>	8,4 (0,3)x10 <sup>-8</sup>	1,64 (0,05)x10 <sup>-8</sup>
3	3,0 (0,1)x10 <sup>-6</sup>	1,20 (0,05)x10 <sup>-7</sup>	2,7 (0,1)x 10 <sup>-8</sup>
7	2,9 (0,1)x10 <sup>-6</sup>	2,6 (0,1)x10 <sup>-6</sup>	1,86 (0,05)x10 <sup>-8</sup>
14	2,1 (0,1)x10 <sup>-6</sup>	9,6 (0,3)x10 <sup>-7</sup>	1,53 (0,05)x10 <sup>-8</sup>

Os vidros estudados possuem baixa taxa de dissolução comparados a outros sistemas vítreos como vidros de janelas (DR= 10<sup>-5</sup> g/cm<sup>2</sup>.min). Também notou-se que o aumento da quantidade de Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub> na estrutura do vidro reduz a taxa de dissolução e a perda de massa normalizada, mostrando que há um aumento

da durabilidade química de vidros contendo maiores teores de óxido de hólmio em sua estrutura.

#### **4. Conclusões**

Foi possível produzir vidros aluminossilicatos contendo diferentes quantidades de óxido de hólmio em sua constituição e caracterizá-los para potencial produção de microesferas de vidros utilizadas em radioterapia interna seletiva. Os vidros produzidos possuem propriedades físicas e químicas que os habilitam para serem usados no tratamento radioterápico. A composição ASHo\_37% foi aquela com melhores propriedades, apesar da densidade ser um pouco superior à dos vidros utilizados para produção das tradicionais microesferas de vidro fabricadas pela empresa Nordion. Propõem-se que estas novas composições de vidro aluminossilicato contendo hólmio sejam usadas para produção de microesferas de vidro utilizadas em radioterapia interna seletiva.

#### **Agradecimentos**

À instituição International Atomic Energy Agency (IAEA), pelo apoio financeiro, à CAPES pela bolsa concedida ao autor Eraldo Cordeiro Barros Filho durante o doutoramento e ao Prof. Dr. José Roberto Martinelli que participou ativamente deste trabalho com preciosas contribuições e que infelizmente nos deixou no ano de 2014.

#### **Referências bibliográficas**

- [1] G. Nace, T. C. Gamblium – **“90-Yttrium Microsphere Radioembolization in the Treatment of Primary and Metastatic Liver Tumors”** - US Gastroenterology – Touch Briefings – (2008).
- [2] P. Hilgard, S. Muller, G. Gerken, G. Antoch – **“Radioembolization with Yttrium-90 Microspheres for Hepatocellular Carcinoma – Method and Results”** – European Gastroenterology and Hepatology Review – Touch Briefings – (2010).
- [3] E. Garin et al. – **“First experience of hepatic radioembolization using microspheres labelled with yttrium-90 (TheraSphere): practical aspects concerning its implementation”** – Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging (2010) 37:453–461.
- [4] R. Salem, L. Kulik, R. Murthy – **“Radioembolization with yttrium-90 microspheres for the treatment of hepatocellular carcinoma and liver metastases”** – US Gastroenterology Review – Touch Briefings – (2007).
- [5] H. Poorbaygi et al – **“Production of glass microspheres comprising 90Y and 177Lu for treating of hepatic tumors with SPECT imaging capabilities”** – Applied Radiation and Isotopes – Elsevier – (2011).
- [6] J. A. Seppenwoolde et al – **“Internal Radiation Therapy of Liver Tumors: Qualitative and Quantitative Magnetic Resonance Imaging of the Biodistribution of Holmium-Loaded Microspheres in Animal Models”** - Magnetic Resonance in Medicine 53:76–84 (2005).
- [7] J. F. W. Nijsen et al – **“Holmium-166 radioembolization for the treatment of patients with**

**liver metastases: design of the phase I hepar trial”** - Journal of Experimental & Clinical Cancer Research, 29:70 (2010).

[8] J. F. W. Nijsen et al – **“Characterization of poly(L-lactic acid) microspheres loaded with holmium acetylacetonate”** - Biomaterials 22 – 3073-3081 – (2001).

[9] J.F.W. Nijsen et al – **“Influence of neutron irradiation on holmium acetylacetonate loaded poly(l-lactic acid) microspheres”** - Biomaterials 23 - 1831–1839 - (2002).

[10] M. A. D. Vente et al – **“Holmium-166 poly(L-lactic acid) microsphere radioembolisation of the liver: technical aspects studied in a large animal model”** - Eur Radiol 20: 862–869 - (2010).

[11] Figura retirada do site <http://www.factsage.com>

# AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO CONCRETO ASFÁLTICO MISTURADO A FRIO EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DO TEMPO DE CURA DA EMULSÃO

Josué Alves Roso<sup>1</sup>, Deise Dias do Nascimento Machado<sup>2</sup>, Rafael Henrique Freire de Godoy<sup>3</sup>,

Felipe Alves Torello Viera<sup>4</sup>, Gabriela Neves Luiz<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Prof. Mestre da Faculdade de Tecnologia de São Paulo

<sup>2</sup> Prof.<sup>a</sup> da Faculdade de Tecnologia de São Paulo

<sup>3</sup> Auxiliar Docente do curso de Movimento de Terra e Pavimentação FATEC – SP

<sup>4,5</sup> Graduados do curso de Movimento de Terra e Pavimentação FATEC – SP

<sup>1</sup>[jaroso@fatecsp.br](mailto:jaroso@fatecsp.br), <sup>2</sup>[deisedias@fatecsp.br](mailto:deisedias@fatecsp.br), <sup>3</sup>[godoy.rafael@fatecsp.br](mailto:godoy.rafael@fatecsp.br), <sup>4</sup>[felipe\\_viera@yahoo.com](mailto:felipe_viera@yahoo.com)

<sup>5</sup>[gabrielanevesluis@gmail.com](mailto:gabrielanevesluis@gmail.com)

## Resumo

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência do tempo de cura na resistência à tração, estabilidade, fluência e porcentagem de vazios do asfalto pré-misturado a frio. As misturas foram constituídas de agregados graúdos, agregados miúdos e emulsão asfáltica, baseadas no método de dosagem Marshall para satisfazer as normas do DER e do DNIT, buscando-se definir a proporção de agregados, ligante e também a matriz de ensaios para observação dos resultados. Foram moldados diversos corpos de prova com esse tipo de mistura, variando o tempo de cura da emulsão para sua compactação, a fim de submetê-los a ruptura em prensa para obter os resultados dessas grandezas e verificar suas variações. Depois de realizados os ensaios, observou-se que essas grandezas apresentaram variações significativas demonstrando a influência do tempo de cura das emulsões asfálticas na compactação dos pré-misturados a frio.

## 1. Introdução

O pavimento é uma estrutura construída sobre a terraplenagem, destinada a resistir as tensões exercidas pelo tráfego, transmitindo-as, de forma atenuada, às camadas inferiores, além de melhorar o rolamento, fornecendo ao usuário conforto e segurança (adaptado de BERNUCCI, et al, 2010)[1].

Há muitas variações de pavimento, tanto em relação a espessura quanto aos materiais utilizados, estes serão definidos de acordo com as solicitações da via. Basicamente, para obter um pavimento flexível, temos as seguintes camadas: revestimento, base, sub-base, reforço subleito e subleito (adaptado de BERNUCCI, et al, 2010).



Figura 1: Camadas de um pavimento

Neste trabalho foi abordado o revestimento pré-misturado a frio, que apresenta fácil produção, e é menos agressivo ao meio ambiente, devido ao fato de não ser necessário aquecimento dos materiais asfálticos.

De acordo com o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNIT), “[...] pré-misturado a frio é uma mistura executada à temperatura ambiente, em usina apropriada, composta de agregado mineral graduado, material de enchimento (filler) e emulsão asfáltica, espalhada e comprimida a frio”, podendo ser empregado em diversas camadas de pavimento, sendo elas: Revestimento; Base; Regularização; Camada de Ligação; Restauração e Reforço de Pavimento. (DNER, 1997) [2]

Aplicadas a título experimental, inicialmente, as misturas a frio, começaram a ser utilizadas no século passado na pavimentação de estradas. Até meados da década de oitenta, sua utilização era restrita a conservação ou melhoramento do perfil do pavimento (BATISTA, 2004) [3].

Dentre as vantagens do emprego da mistura a frio está a sua maior flexibilidade, pois são mais adequadas para aplicação sobre suportes relativamente deformados e/ou fendilhados e pode-se destacar o fato de não ser necessário o aquecimento do ligante betuminoso e dos agregados para sua fabricação e aplicação em campo, conferindo assim uma expressiva redução nos gastos energéticos e na emissão de poluentes. [4]

O fato de ser economicamente vantajoso e possuir características não destrutivas ao meio ambiente, fez com que crescesse o interesse o pavimento pré-misturado a frio.

Devido a crise mundial na década de noventa, houve queda de produção de emulsões betuminosas, em alguns países. Porém, a fim de reabilitar e melhorar a infraestrutura de rodovias, entre os diversos países que as utilizam, o Brasil se destaca na produção e consumo desses materiais (BERNUCCI, 2010).

Na produção de qualquer mistura betuminosa, é necessário que haja um estudo laboratorial de sua composição, em relação à quantidade e qualidade dos materiais a serem utilizados. Assim sendo, o objetivo é obter uma mistura resistente, que apresente alta

qualidade, sendo capaz de suportar a ação do tráfego e das intempéries.

Da mesma forma é para as misturas a frio, entretanto os critérios e metodologias usadas para obter uma mistura com alta qualidade, ainda não foram completamente especificados e aceitos pelas autoridades competentes, de forma unânime, entre os diversos países que a utilizam.

Apesar disso, todos os que utilizam esse tipo de mistura buscam um mesmo resultado, ou seja, uma mistura com boa trabalhabilidade, além de estabilidade e um bom comportamento mecânico. [5]

## 2. Objetivo

O objetivo desta pesquisa foi estudar as misturas asfálticas usinadas a frio, observar seu comportamento e sua utilização, avaliar algumas características mecânicas dessa mistura, tais como ruptura à tração, estabilidade Marshall, fluência e porcentagem de vazios, por intermédio de ensaios de laboratório.

Especificamente, este estudo fez uma análise dessas grandezas em função da variação do tempo de cura da emulsão na compactação do pré-misturado a frio.

## 3. Materiais e Métodos

### 3.1-Ensaio Marshall

Foram escolhidos os resultados dos ensaios Marshall (estabilidade e Fluência) e Resistência à Tração como parâmetros para definição de comparação.

O ensaio Marshall é parte do método de dosagem e é utilizada para determinar a estabilidade, volume de vazios, vazios do agregado mineral, relação betume vazios e a fluência das misturas asfálticas. A estabilidade é definida como “Resistência máxima à compressão radial, apresentada pelo corpo-de-prova, quando moldado e ensaiado de acordo com o processo estabelecido neste método, expressa em N (kgf)” (DNER, 1995).

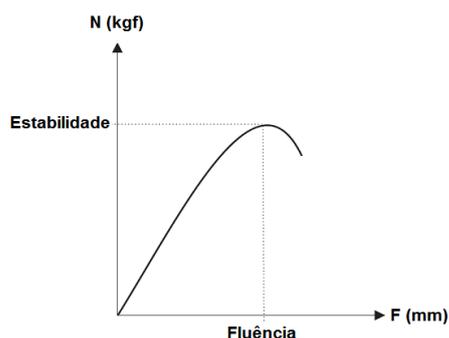


Figura 2: Exemplo de resultado de ensaio de estabilidade Marshall. Fonte: Bernucci et al (2010)

Tal resistência à compressão radial traduz a resistência ao cisalhamento das misturas asfálticas, no qual o “esqueleto” formado pelos agregados colabora com a resistência ao atrito, que é função de sua granulometria, forma e resistência mecânica e o ligante colabora com a coesão da mistura, que é função de sua viscosidade, que varia de acordo com a temperatura da

mistura quando da aplicação da carga, da velocidade do carregamento, da área de contato, etc.

### 3.2-Resistência à Tração

O ensaio de compressão diametral, conhecido internacionalmente como “ensaio brasileiro”, desenvolvido originalmente por Lobo Carneiro em 1943 para determinar indiretamente a resistência à tração de corpos de prova cilíndricos de concreto Portland é utilizado com a mesma finalidade, desde 1972 (Bernucci et al., 2010), para misturas asfálticas.



Figura 3: Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

O ensaio, que utiliza o mesmo corpo-de-prova e equipamento do ensaio Marshall consiste na aplicação de duas cargas distribuídas, diametralmente opostas, ao longo da altura do corpo-de-prova cilíndrico.

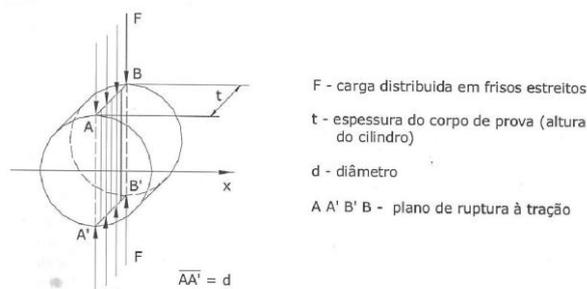


Figura 4: Esquema físico do ensaio de resistência à tração por compressão diametral. Fonte: Medina e Motta (2005)

As cargas aplicadas geram tensões de tração uniformes e perpendiculares ao longo do diâmetro do corpo-de-prova, dando origem a um estado biaxial de tensões e levando o corpo de prova a romper no plano vertical que passa pelo centro de gravidade do corpo de prova.

### 3.3-Granulometria

As misturas a frio serão realizadas com granulometria na faixa IV do Instituto do Asfalto( figura 5), sendo que o teor de resíduo asfáltico utilizado na mistura será determinado pelo ensaio Marshall.

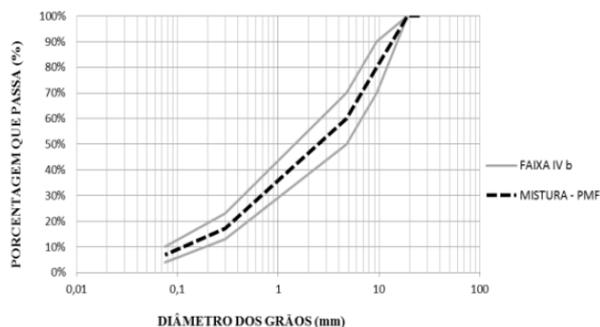


Figura 5: Faixa Granulométrica

### 3.4-Emulsões Asfálticas

Para obter um CAP com viscosidade de trabalho ideal nos serviços de pavimentação, evitando o seu aquecimento, é válido promover mudanças no ligante. Para isso utilizam-se dois processos:

- adição de um diluente volátil ao asfalto;
- emulsão do asfalto, sobre o qual abordaremos.

O manual de emulsões asfálticas do Instituto Brasileiro de Petróleo 1999[6], define as emulsões como suspensões de materiais asfálticos finamente divididos em pequenos glóbulos ( $1 \mu\text{m} \leq \phi \leq 10 \mu\text{m}$ ) dispersos em uma fase contínua que é a água.

As emulsões são obtidas combinando-se asfalto aquecido, água e agentes emulsificantes, que tem como finalidade favorecer a dispersão e revestir os glóbulos de asfalto com uma película protetora, mantendo-se em suspensão.

Neste trabalho foi utilizado a emulsão RL-1C

### 3.5 - Pré-misturado a frio

Para as misturas asfálticas a frio são utilizados materiais que podem ser trabalhados (misturados, transportados e compactados) à temperatura ambiente, conferindo assim uma grande vantagem em relação às misturas a quente uma vez que estas necessitam de altas temperaturas para as agregados e para os ligantes alcançarem a viscosidade ideal, gerando maiores investimentos e desprendimento de energia e, conseqüentemente, gerando um aumento no impacto ambiental. Nas misturas a frio, a viscosidade ideal é obtida pela mistura do ligante com água e agentes emulsificantes. [7]

Em misturas a frio, a fim de verificar as condições de vazios, estabilidade e fluência deve-se utilizar o Método Marshall modificado, de acordo com o DNER – ES 317/97, atendendo os valores da tabela 6:

Tabela 6: Valores para ensaio Marshall

PORCENTAGEM DE VAZIOS (%)	5-A-30
ESTABILIDADE MÍNIMA	250 kgf (75 GOLPES)
	150 kgf (50 GOLPES)
FLUÊNCIA MÍNIMA (mm)	2,0 - 4,5

### 3.6 - Traço da mistura

Tabela 7: Traço da Mistura % em massa

Material	Composição dos Agregados (%)	Composição da Mistura (%)
Brita 1	22	21,09
Pedrisco	22	21,09
Pó de Pedra	53,50	51,15
Cal	2,50	1,97
RL-1C		4,70 (resíduo)
TOTAL	100	100

### 3.7 - Matriz dos ensaios

Foram efetuadas três misturas, cada uma com um tempo inicial diferente, gerando, na matriz de ensaio, três grupos de misturas distintas, que serão denominadas (M1, M2 e M3), tendo sido misturadas nas mesmas condições, para buscar manter semelhança nas características dos corpos de prova.

Cada grupo gerou 6 CP's (figura 8) que foram moldados em intervalos de tempo distintos, ou seja, a compactação do corpo de prova foi realizada com a variação do tempo de cura, a fim de que os intervalos de compactação fossem os mesmos entre os CP's de cada grupo.



Figura 8: Corpos de prova – Marshall

A mistura então é compactada com o soquete Marshall. Aplica-se 75 golpes na face superior do CP, em seguida, retira-se o anel superior e a placa base e inverte-se o anel inferior (180°), monta-se novamente o sistema e então é aplicado 75 golpes na outra face do CP, com o soquete Marshall.

Após a moldagem dos 18 CP's, os mesmos foram armazenados em local apropriado, permanecendo por 10 dias corridos em processo de cura. Após a secagem, desmoldou-se os CP's, e os mesmos foram rompidos para determinação da RT, da Estabilidade e da Fluência.



Figura 9: Corpo de prova ensaiado - Marshall

#### 4. Resultados

Por intermédio dos ensaios Marshall de Estabilidade e Fluência e o de Resistência a Tração [8], obtivemos os resultados contidos na tabela 10, sendo ensaios de RT para o grupo M1 e ensaio Marshall para os grupos M2 e M3.

Tabela 10: Resultado dos ensaios

CPs	m1			m2			m3		
	RT (MPa)	Vazios (%)	E (kg)	Vazios (%)	Fluência (0,01")	E (kg)	Vazios (%)	Fluência (0,01")	
1	0,10	18,02	723,94	20,04	4,13	423,06	18,72	2,50	
2	0,11	17,63	351,17	19,34	4,27	442,28	18,16	4,57	
3	0,12	15,54	470,91	14,45	4,06	517,27	17,88	3,89	
4	0,14	14,99	477,28	13,23	5,80	568,38	15,24	4,38	
5	0,12	16,93	396,47	18,38	4,30	428,11	18,87	2,60	
6	0,10	17,83	386,35	17,91	3,79	395,03	18,61	2,58	

#### 4.1 - Resistência a Tração x tempo de cura

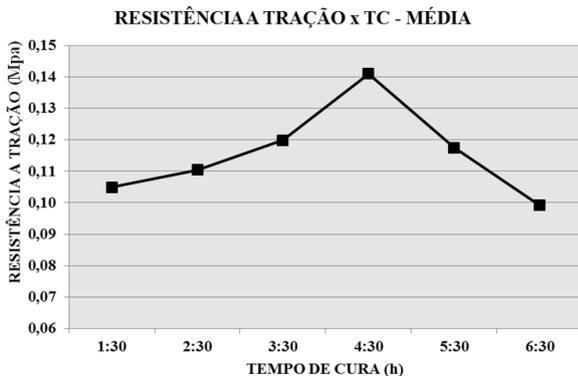


Figura 11: Resistência a Tração Média x Tempo de Cura

#### 4.2 - Fluência x tempo de cura

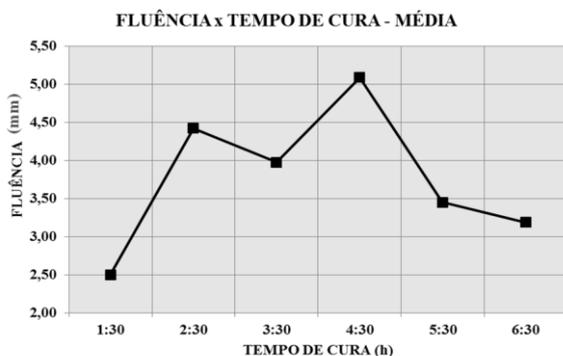


Figura 12: Fluência Média x Tempo de Cura

#### 4.3 - Estabilidade x tempo de cura

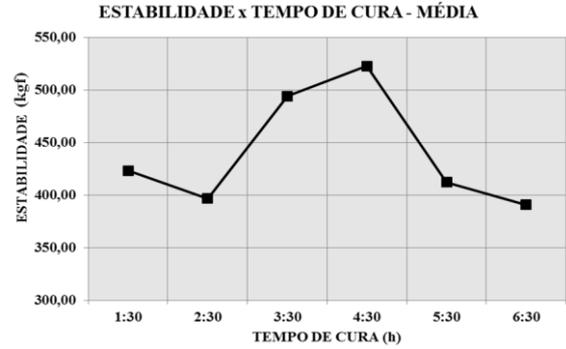


Figura 13: Estabilidade Média x Tempo de Cura

#### 4.4 - Índice de vazios x tempo de cura

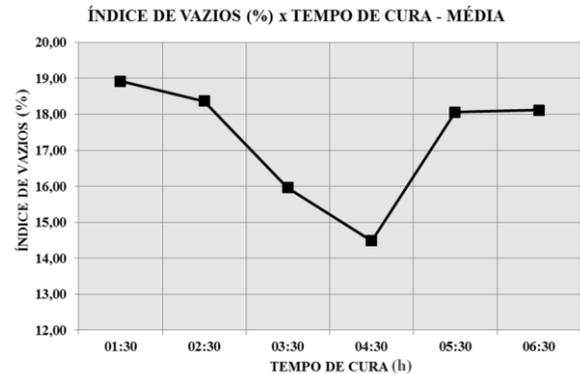


Figura 14: Índices de Vazios Médios x Tempo de Cura.

### 5. Análise dos resultados

Todos os corpos de prova foram moldados nas mesmas condições de preparação de materiais, processo de misturas, manuseio e colocação nos moldes e compactação, portanto os resultados obtidos e apresentados nesse trabalho conferem resultados comparativos entre eles.

A estabilidade apresentou variação em seus valores, de forma que o tempo de cura exerceu influência significativa nessa grandeza. Observou-se que os tempos definidos para compactação dos CPs demonstraram que os resultados de estabilidade nos primeiros corpos de prova foram relativamente baixos, e a medida que o tempo de cura aumentou, a grandeza foi elevando-se até um determinado patamar, apresentando os maiores valores de estabilidade entre quatro e quatro horas e meia de tempo de cura. Os resultados começaram a baixar os valores a medida que o tempo de cura passou de quatro horas e meia.

Os resultados da resistência a tração grandeza avaliada em um dos grupos de corpos de prova - e o da fluência demonstraram comportamento semelhante ao da estabilidade, apresentando valores mais elevados dentro do mesmo período de cura da emulsão asfáltica.

Os índices de vazios apresentaram valores maiores no início do tempo de cura das emulsões, a medida que o tempo de cura aumentou esses índices foram baixando até um determinado momento, quando voltaram a

aumentar, apresentando menor valor de vazios no período de quatro horas e meia.

As grandezas avaliadas apresentaram tendências semelhantes, reforçando o princípio de que o tempo de cura da emulsão asfáltica exerce influência significativa no comportamento mecânico das misturas asfálticas a frio.

As misturas ensaiadas apresentaram melhores resultados, num intervalo de tempo bem próximo do limite superior do tempo apresentado em norma. A norma DNER-ME 107/94 preconiza que as Misturas a frio devem observar um tempo de cura entre duas e quatro horas para a compactação.

Sendo assim, para esse universo amostral, foi verificado que o melhor intervalo de tempo de cura para a composição granulométrica e a emulsão utilizada no ensaio esteve entre quatro e quatro horas e meia, pois os resultados apresentaram valores maiores neste intervalo de tempo.

A equivalência dos resultados demonstram-se pela observação do crescimento da resistência a tração em relação a diminuição dos índices de vazios, entretanto para afirmar essa equivalência, seria necessário um universo amostral maior, inclusive para testar os resultados apresentados nesse trabalho.

## 6. Conclusão

No início da compactação os corpos de prova ainda apresentavam uma quantidade de água que impediam maior redução de vazios, a partir do processo de cura da mistura essa água reduziu-se até um determinado ponto, onde a dispersão das partículas de asfalto encontrava-se em condições ideais de compactação, à medida que o tempo aumentou, a cura conduziu a dispersão de água até uma condição onde o asfalto encontrava-se endurecido ao ponto de impedir uma maior redução dos vazios.

O tempo de cura exerce grande influência nas características mecânicas das misturas a frio nas quais as misturas ensaiadas apresentaram melhores resultados, num intervalo de tempo bem próximo do limite superior do tempo apresentado em norma. A norma DNER-ME 107/94 preconiza que as misturas a frio devem observar um tempo de cura entre duas e quatro horas para a compactação.

Observando os resultados apresentados pode-se inferir que esses tempos de cura podem ser revistos, se novos resultados em outros trabalhos apresentarem a mesma tendência de comportamentos mecânicos, associados a observação de outros fatores que podem influenciar esse resultado, tais como, temperatura de aplicação e a de compactação.

Os pré-misturados a frio apresentaram valores que permite sua utilização como revestimento em vias de tráfego que variam de pequeno a médio, mas pode ser utilizado como camada intermediária em projetos de pavimentos quaisquer.

## 7. Referências

- [1] BERNUCCI, Liedi Bariani, et al. Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros. 3. ed. Rio de Janeiro, 2010
- [2] DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM . DNER 043/95 – ES: Misturas betuminosas – ensaio Marshall. Rio de Janeiro, 1995. 14p.  
\_\_\_\_\_. DNER 107/94 – DNER 107/94 – ME: Mistura Betuminosa a frio, com emulsão asfáltica – ensaio Marshall. Rio de Janeiro, 1994.  
\_\_\_\_\_. DNER 317/97 – DNER 317/97 – ES: Pavimentação: pré-misturado a frio. Rio de Janeiro, 1997. 14p.  
\_\_\_\_\_. DNER 405/00 – ES: Reciclagem a frio com utilização de espuma de asfalto. Rio de Janeiro, 2000. 10p.
- [3] BATISTA, Fátima Alexandra Barata Antunes. Novas Técnicas de Reabilitação de Pavimento – Misturas Betuminosas Densas a Frio. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004..
- [4] POTTI, J. J. LESUEUR, D. ECKMANN, B. in direction of a cold asphalt mixes method: a optel contribution. European Roads Review, Special Issue, n. 805. p 38 – 47. April 2002
- [5] ROSO, Josué Alves. Análise do Comportamento à Fadiga de Misturas Asfálticas Densas Usinadas a Frio. Tese de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, 2007.
- [6] INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO IBP. Informações básicas sobre materiais asfálticos. Rio de Janeiro, 1999
- [7] SANTANA, Humberto. Manual de pré misturado a frio. Instituto Brasileiro do Petróleo/Comissão do Asfalto. Rio de Janeiro, 1993.
- [8] DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. DNIT 070/2006 – ES: Micro revestimento asfáltico a frio. Rio de Janeiro, 2006. 09p.  
\_\_\_\_\_. DNIT 070/2006 – PRO: condições ambientais das áreas de uso de obras. Rio de Janeiro, 2006. 20p.  
\_\_\_\_\_. DNIT 136/2010 – Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.

# IMPLEMENTAÇÃO DE CLASSIFICAÇÃO BAYESIANA

Gabriela Silva de Oliveira<sup>1</sup>, Silvio do Lago Pereira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Aluna do Curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas – DTI/FATEC-SP

<sup>2</sup>Prof. Dr. do Departamento de Tecnologia da Informação – FATEC-SP

gsilvadoliveira@gmail.com, slago@fatecsp.br

## Resumo

*Classificação* é uma técnica de aprendizado de máquina supervisionado que, a partir de exemplos de objetos de um conjunto predefinido de classes, sintetiza modelos preditivos capazes de determinar a classe de um objeto em função dos valores de seus atributos. Esses modelos preditivos têm aplicações práticas em várias áreas como, por exemplo, medicina, economia, negócios e biologia. Há diversas abordagens que podem ser empregadas para prever a classe de um objeto (e.g., árvores de decisão e redes neurais), mas a abordagem estatística, além de prever a classe de um objeto, também pode informar a probabilidade de sua predição. Particularmente, classificadores bayesianos são algoritmos estatísticos que classificam objetos analisando a probabilidade de sua pertinência em cada uma das possíveis classes predefinidas e escolhendo aquela mais provável. Evidentemente, todo modelo preditivo está sujeito a erro e modelos com maior acurácia são preferíveis. Nesse contexto, o objetivo deste artigo é descrever a implementação de um classificador bayesiano e avaliar sua acurácia (i.e., taxa de acertos).

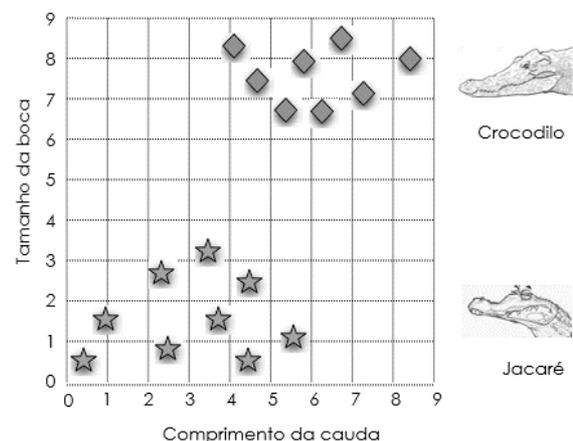
## 1. Introdução

*Aprendizado de Máquina* [1] é uma área de pesquisa da Inteligência Artificial que estuda como criar algoritmos capazes de melhorar seu desempenho na realização de uma tarefa, por meio da experiência. Particularmente para a tarefa de *classificação* [2], os algoritmos devem ser capazes de induzir hipóteses, a partir de exemplos de objetos previamente classificados por um especialista, e usá-las para classificar novos objetos posteriormente considerados. As hipóteses induzidas pelos algoritmos de classificação são denominadas *modelos preditivos* e, como elas são induzidas a partir de exemplos já classificados, o aprendizado implementado pelos algoritmos é denominado *aprendizado supervisionado*.

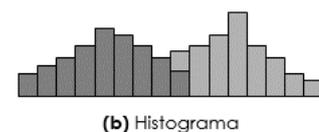
Modelos preditivos têm aplicação prática em várias áreas; por exemplo, em medicina, um modelo preditivo pode ser usado para diagnosticar doenças, a partir de resultados de exames feitos pelos pacientes; em economia e negócios, um modelo preditivo pode ser usado para decidir a aprovação de crédito, a partir de informações pessoais e financeiras dos clientes; em biologia, um modelo preditivo pode ser usado para determinar a espécie de um animal ou planta desconhecido [3].

Há diversas abordagens que podem ser empregadas para a síntese de modelos preditivos, a partir de exemplos previamente classificados por um especialista do domínio de aplicação (e.g., árvores de decisão e redes neurais) [3]. Porém, a abordagem estatística tem a vantagem de possibilitar a síntese de modelos preditivos que, além de preverem a classe de um objeto, também podem informar a probabilidade de suas predições se confirmarem.

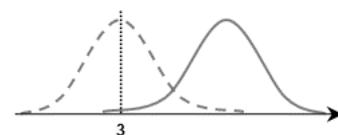
Numa abordagem estatística, a probabilidade de um evento é estimada com base na observação da frequência com que este evento ocorre em um determinado contexto. Por exemplo, no contexto da Figura 1, um conjunto de animais (i.e., *objetos*) previamente classificados por um especialista, como jacarés ou crocodilos, está disponível. Neste contexto, cada animal é descrito por um par de atributos quantitativos contínuos: comprimento da *cauda* e tamanho da *boca*, como na Figura 1-a. Os valores desses atributos podem ser usados para a construção de histogramas. Por exemplo, a Figura 1-b mostra histogramas criados a partir dos dados relativos ao comprimento da cauda, que podem ser sumarizados por distribuições de probabilidades normais, como ilustrado na Figura 1-c.



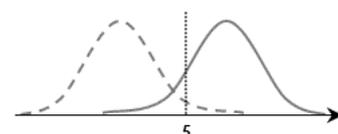
(a) Exemplos previamente classificados



(b) Histograma



(c) Objeto com comprimento de cauda 3



(d) Objeto com comprimento de cauda 5

Figura 1 – Classificação de animais, adaptado de [4].

Suponha que um novo animal com comprimento de cauda  $k$  seja encontrado e deva ser classificado como **jacaré** ou **crocodilo**. Para decidir a classe mais provável desse animal desconhecido, com base nas probabilidades observadas no conjunto de exemplos, podemos verificar

qual classe tem maior probabilidade para a característica observada; ou seja, calcular a probabilidade de ele ser **jacaré**,  $P(\text{animal}=\text{jacaré} | \text{cauda}=k)$ , ou **crocodilo**,  $P(\text{animal}=\text{crocodilo} | \text{cauda}=k)$ , dado que sua cauda tem comprimento  $k$ , e escolher a classe com maior probabilidade. Por exemplo, para  $k = 3$  (Figura 1-c), a classe mais provável é **jacaré**; por outro lado, para  $k = 5$  (Figura 1-d), a classe mais provável é **crocodilo**.

Evidentemente, todo modelo preditivo está sujeito a erro e o objetivo da classificação é obter modelos preditivos que tenham a maior *acurácia* possível (i.e., taxa de acerto da predição). Na prática, é difícil aferir a acurácia real de um modelo preditivo. Assim, a acurácia dos modelos costuma ser avaliada com relação a exemplos também previamente classificados por um especialista, mas que não foram usados para a síntese do modelo.

Neste contexto, o objetivo deste artigo é descrever a implementação de um *classificador bayesiano* e relatar resultados de experimentos que indicam sua acurácia.

O restante deste artigo está organizado do seguinte modo: a Seção 2 introduz a fundamentação teórica do trabalho; a Seção 3 descreve as principais características do classificador bayesiano desenvolvido; a Seção 4 discute resultados de experimentos feitos com o classificador; e a Seção 5 apresenta as conclusões finais do trabalho.

## 2. Fundamentos Teóricos

Os fundamentos teóricos deste trabalho são o Teorema de Bayes e o algoritmo de classificação bayesiana.

### 2.1. Teorema de Bayes

O *Teorema de Bayes* [5] estabelece a relação entre uma probabilidade condicional e a sua inversa, isto é, entre a probabilidade de uma hipótese  $H$ , dada uma evidência  $E$ , e a probabilidade de uma evidência  $E$ , dada uma hipótese  $H$ . Mais precisamente:

$$P(H | E) = \frac{P(E | H)P(H)}{P(E)}, \quad (1)$$

sendo:

- $P(H) \neq 0$  e  $P(E) \neq 0$  as probabilidades independentes da hipótese  $H$  e da evidência  $E$ ;
- $P(H | E)$  a probabilidade condicional da hipótese  $H$ , dada a evidência  $E$ ;
- $P(E | H)$  a probabilidade condicional da evidência  $E$ , dada a hipótese  $H$ .

Por exemplo, esse teorema pode ser usado para avaliar a confiabilidade do resultado de um exame para diagnosticar uma determinada doença [6]. Considerando que:

- Apenas 1% das pessoas têm a doença, ou seja, a probabilidade de alguém selecionado aleatoriamente ter a doença é  $P(H) = 0,01$  e de não ter a doença é  $P(\bar{H}) = 0,99$ .
- O exame tem resultado positivo para 95% das pessoas que realmente têm a doença, ou seja,  $P(E_+ | H) = 0,95$ . O mesmo exame tem resultado negativo para 95% das pessoas que não têm a doença, ou seja,  $P(E_- | \bar{H}) = 0,95$ .

- Se uma pessoa não tem a doença, a probabilidade de um resultado falso positivo é de 5%, ou seja,  $P(E_+ | \bar{H}) = 0,05$ .

Qual a probabilidade de uma pessoa que teve um exame com resultado positivo realmente ter a doença? Para obter a resposta a esta pergunta, basta calcular  $P(H | E_+)$ .

De acordo com o princípio aditivo da probabilidade:

$$P(E_+) = P(E_+ | H)P(H) + P(E_+ | \bar{H})P(\bar{H}) \quad (2)$$

Substituindo o denominador da Equação (1) pela Equação (2), temos:

$$P(H | E_+) = \frac{P(E_+ | H)P(H)}{P(E_+ | H)P(H) + P(E_+ | \bar{H})P(\bar{H})} \quad (3)$$

$$P(H | E_+) = \frac{0,95 \times 0,01}{0,95 \times 0,01 + 0,05 \times 0,99} \cong 16,10\% \quad (4)$$

Portanto, apesar de o exame apresentar acurácia de 95%, apenas 16,10% das pessoas que têm um resultado positivo no exame realmente têm a doença.

### 2.2. Classificação Bayesiana

O algoritmo de classificação bayesiana considerado neste artigo, *Naïve-Bayes* [4], usa o Teorema de Bayes para prever a *classe* de um objeto, supondo que seus *atributos* são independentes. Apesar de essa suposição nem sempre ser verdadeira, resultados empíricos descritos na literatura mostram que o algoritmo *Naïve-Bayes* tem bons resultados e custo computacional baixo [3,4,5].

O algoritmo pode ser usado para classificar objetos descritos por atributos *qualitativos* (i.e., nominais ou ordinais) e *quantitativos* (i.e., discretos ou contínuos). As probabilidades de ocorrência de valores específicos de atributos qualitativos ou discretos são dadas por frequências relativas (obtidas por contagem). Por outro lado, as probabilidades de ocorrência de valores específicos de atributos contínuos são dadas por distribuições de probabilidades normais (i.e., *gaussianas*), o que pode diminuir a acurácia dos resultados, quando as distribuições reais desses valores não são normais.

Por exemplo, considere o problema de classificar uma pessoa como sendo do *sexo* feminino ou masculino [4], com base no seu *nome* e nas probabilidades que podem ser obtidas a partir dos exemplos previamente classificados apresentados na Tabela I.

**Tabela I** – Conjunto de exemplos de pessoas.

Nome	Sexo
Reid	Masculino
Reid	Feminino
Morgan	Masculino
Reid	Masculino
Joan	Feminino
Rachel	Feminino
Elizabeth	Feminino

Para decidir o sexo mais provável de uma pessoa chamada *Reid*, considerando os dados na Tabela I, basta observar que:

- A probabilidade de ocorrência do nome *Reid* é  $P(\text{nome} = \mathbf{Reid}) = 3/7$ ;
- A probabilidade de *Reid* ser do sexo feminino é  $P(\text{nome} = \mathbf{Reid} \mid \text{sexo} = \mathbf{feminino}) = 1/4$ ;
- A probabilidade de *Reid* ser do sexo masculino é  $P(\text{nome} = \mathbf{Reid} \mid \text{sexo} = \mathbf{masculino}) = 2/3$ ;
- A probabilidade do sexo feminino no conjunto de exemplos é  $P(\text{sexo} = \mathbf{feminino}) = 4/7$ .
- A probabilidade do sexo masculino no conjunto de exemplos é  $P(\text{sexo} = \mathbf{masculino}) = 3/7$ .

Então, de acordo com o Teorema de Bayes, segue que:

$$\begin{aligned}
 & P(\text{sexo} = \mathbf{feminino} \mid \text{nome} = \mathbf{Reid}) \\
 &= \frac{P(\text{nome} = \mathbf{Reid} \mid \text{sexo} = \mathbf{feminino}) P(\text{sexo} = \mathbf{feminino})}{P(\text{nome} = \mathbf{Reid})} \quad (5) \\
 &= \frac{1/4 \times 4/7}{3/7} \cong 33,3\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & P(\text{sexo} = \mathbf{masculino} \mid \text{nome} = \mathbf{Reid}) \\
 &= \frac{P(\text{nome} = \mathbf{Reid} \mid \text{sexo} = \mathbf{masculino}) P(\text{sexo} = \mathbf{masculino})}{P(\text{nome} = \mathbf{Reid})} \quad (6) \\
 &= \frac{2/3 \times 3/7}{3/7} \cong 66,6\%
 \end{aligned}$$

Portanto, pode-se concluir que, de acordo com os dados na Tabela I, uma pessoa chamada *Reid* é mais provavelmente do sexo *masculino*.

Embora os objetos (i.e., pessoas) nesse exemplo sejam descritos por um único atributo (i.e., *nome*) e a classe (i.e., *sexo*) seja binária, o algoritmo *Naïve-Bayes* também pode ser usado quando os objetos são descritos por vários atributos e há diversas classes. Nesse caso, uma evidência  $E$  é dada por um vetor de atributos (cujos elementos  $E_1, E_2, \dots, E_n$  são considerados independentes) e o Teorema de Bayes pode ser generalizado por:

$$P(H_i \mid \vec{E}) = \frac{P(E_1 \mid H_i) P(E_2 \mid H_i) \dots P(E_n \mid H_i) P(H_i)}{P(\vec{E})} \quad (7)$$

Nos exemplos considerados na Tabela I, todos os atributos são *qualitativos nominais*; porém, o algoritmo de classificação bayesiana também pode ser usado com atributos *quantitativos contínuos*. Neste caso, em vez de representar as probabilidades pela frequência relativa dos valores dos atributos no conjunto de exemplos, o algoritmo representa as probabilidades usando a seguinte função de distribuição de probabilidades normal:

$$P(E_i = x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (8)$$

onde  $\mu$  é a média dos valores dos atributos contínuos e  $\sigma$  é o desvio padrão correspondente, calculados a partir dos dados disponíveis.

### 3. O Classificador Bayesiano Desenvolvido

O classificador bayesiano, desenvolvido em Python [7], pode ser facilmente usado por quem precisa de um

algoritmo de classificação, mas não tem conhecimentos específicos na área de aprendizado de máquina. A janela principal do classificador é apresentada na Figura 2.

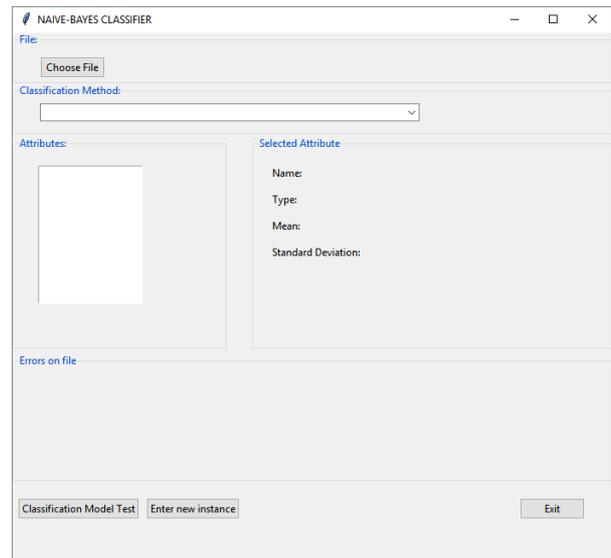


Figura 2 – Janela principal do classificador desenvolvido.

### 3.1. Interface de Usuário do Classificador

Para usar o classificador, primeiramente o usuário deve selecionar um arquivo do tipo ARFF [8] contendo os exemplos que deverão ser usados para a síntese do modelo preditivo. Para isto, basta que ele clique o botão *Choose File*, na janela principal do sistema. A partir daí, é aberta uma janela para navegação no sistema de arquivos do computador e escolha do arquivo desejado, como mostra a Figura 3.

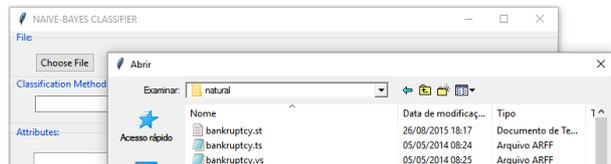


Figura 3 – Janela para navegação no sistema de arquivos.

Assim que um arquivo é selecionado, o sistema lê e compila os dados existentes no arquivo. Caso haja erros de sintaxe na especificação dos exemplos no arquivo, o sistema informa na janela principal os erros encontrados, como mostra a Figura 4 (os exemplos com erros de sintaxe não são usados na síntese do modelo preditivo). Caso contrário, o sistema atualiza sua janela principal com informações sobre o arquivo lido, como mostra a Figura 5, e gera as *tabelas de probabilidades* para os atributos nominais e/ou discretos, bem como as *funções de distribuição normais* para os atributos contínuos.

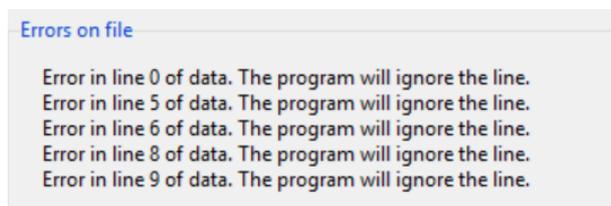
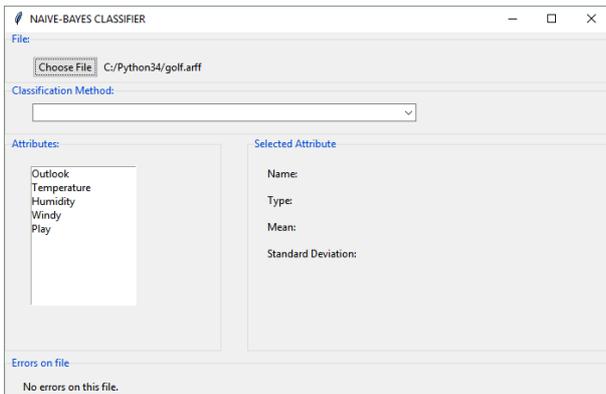


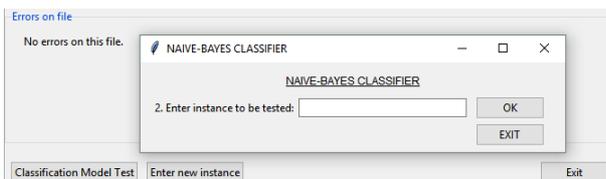
Figura 4 – Janela de erros de sintaxe nos exemplos.



**Figura 5** – Janela principal atualizada.

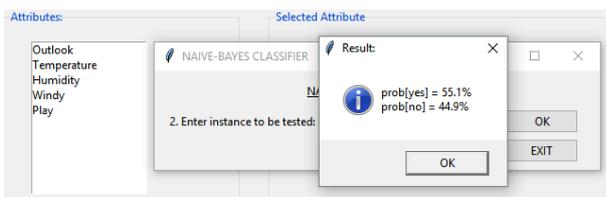
Após a geração das tabelas e funções de probabilidades (i.e., modelo preditivo), o sistema habilita duas outras funcionalidades: a *classificação* de uma nova instância, que deve ser do mesmo tipo dos objetos descritos nos exemplos do arquivo lido, e a *acurácia* do modelo preditivo, que foi sintetizado a partir dos exemplos do arquivo.

Para classificar uma nova instância, o usuário precisa clicar o botão Enter new instance. A janela para entrada da nova instância a ser classificada é exibida na Figura 6.



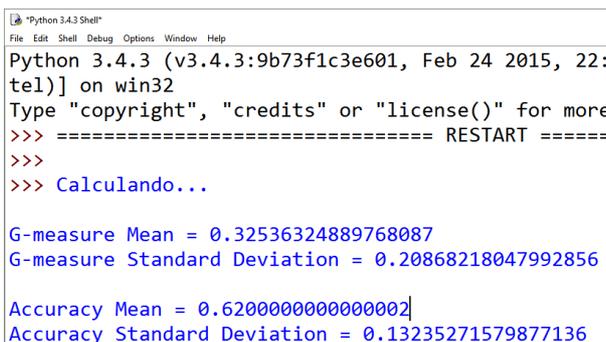
**Figura 6** – Janela para entrada da instância a ser classificada.

Depois que o usuário digita os atributos da nova instância a ser classificada e clica o botão OK, o sistema abre uma janela informando a probabilidade de essa instância pertencer a cada uma das possíveis classes consideradas no modelo preditivo, como mostra a Figura 7.



**Figura 7** – Resultado da classificação de uma instância.

Para avaliar o modelo preditivo sintetizado, o usuário deve clicar o botão Classification Model Test. A acurácia e *g-measure* [9] são exibidas no IDE do Python (Figura 8).



**Figura 8** – Resultados do teste do modelo preditivo.

### 3.2. Formato do Arquivo de Entrada

Para o correto funcionamento do sistema, o arquivo de entrada deve ser formatado de acordo com o padrão ARFF (*Attribute Relation File Format*) [8], amplamente empregado em mineração de dados e, em particular, em sistemas de classificação.

Cada arquivo ARFF representa um conjunto de exemplos descritos pelos mesmos atributos. Dentro do arquivo constam as declarações dos atributos e seus respectivos tipos, seguidos de registros de dados descrevendo os exemplos a serem considerados para a síntese do modelo preditivo. Cada registro de dado é representado por uma sequência de valores correspondentes aos atributos declarados. A ordem dos atributos em cada registro deve ser a mesma ordem na qual os atributos são declarados. O último atributo declarado é, por definição, o atributo de classificação (i.e., que indica a classe de cada exemplo e cujo valor deve ser decidido para uma nova instância). Um exemplo de arquivo ARFF é apresentado na Figura 9.

```
@relation golf
@attribute outlook {sunny, overcast, rainy}
@attribute temperature numeric
@attribute humidity numeric
@attribute windy {true, false}
@attribute play {yes, no}
@data
sunny, 85, 85, false, no
sunny, 80, 90, true, no
overcast, 83, 86, false, yes
rainy, 70, 96, false, yes
rainy, 68, 80, false, yes
rainy, 65, 70, true, no
overcast, 64, 65, true, yes
sunny, 72, 95, false, no
sunny, 69, 70, false, yes
rainy, 75, 80, false, yes
sunny, 75, 70, true, yes
overcast, 72, 90, true, yes
overcast, 81, 75, false, yes
rainy, 71, 91, true, no
```

**Figura 9** – Arquivo ARFF para a relação *golf*.

### 3.3. Funcionamento Interno do Sistema

A compilação do arquivo ARFF é feita com uma gramática especificada com funções do *pyarsing*, um módulo do Python que oferece recursos para compilação robusta de dados com qualquer formatação.

Na primeira fase da compilação, o sistema usa a gramática para gerar duas listas: uma com a descrição dos atributos declarados no arquivo, e outra com os registros de dados devidamente consistidos e convertidos para os tipos declarados.

Na segunda fase da compilação, o sistema usa as duas listas geradas na primeira fase para criar as tabelas de probabilidades de atributos qualitativos (i.e., nominais e categóricos) e quantitativos discretos, bem como as funções de distribuição de probabilidade normal para os atributos quantitativos contínuos. Internamente, tanto as tabelas quanto as funções de probabilidades são representadas por dicionários (i.e., tabelas de *hashing*), que permitem acesso eficiente em tempo constante.

A probabilidade dos atributos qualitativos e quantitativos discretos é obtida por contagem e *ajuste laplaciano*

[2]. A probabilidade dos atributos quantitativos contínuos é obtida a partir da média e do desvio padrão, assumindo-se que tais atributos possuem distribuição normal.

Quando uma nova instância precisa ser classificada, as probabilidades obtidas durante a compilação dos dados são usadas para o cálculo da Equação (7), para cada um dos possíveis valores do atributo de classificação.

#### 4. Discussão dos Resultados Empíricos

Todos os experimentos com o classificador bayesiano desenvolvido foram realizados com conjuntos de dados previamente classificados por especialistas dos domínios e disponíveis no repositório de aprendizado de máquina da UCI (*University of California, Irvine*) [10]. Alguns desses conjuntos precisaram ser formatados de acordo com o padrão ARFF, pois originalmente não se encontravam nesse formato. Os conjuntos de dados selecionados para os experimentos cobrem diversos domínios de aplicação. Por exemplo, o conjunto *Bankruptcy* permite sintetizar um modelo de predição de falência de empresas; o conjunto *Heart* permite sintetizar um modelo de predição de doenças cardíacas; o conjunto *Mushroom* permite sintetizar um modelo de predição de espécie de cogumelos; e o conjunto *Lenses* permite sintetizar um modelo de predição de indicação para uso de lentes de contato.

Cada conjunto de dados usado nos experimentos foi dividido em duas partes: uma delas foi usada para a síntese do modelo preditivo (*conjunto de treinamento*) e a outra foi reservada para avaliação da acurácia do modelo sintetizado (*conjunto de validação*). A Figura 10 ilustra o processo de síntese e avaliação dos modelos preditivos.

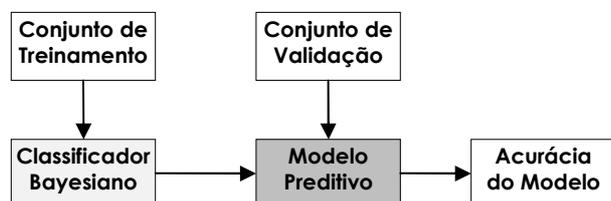


Figura 10 – Síntese e avaliação dos modelos preditivos.

Esse método de avaliação, denominado *holdout* [3], especifica que uma boa proporção para a divisão do conjunto de dados é usar 2/3 dos dados para treinamento e o 1/3 restante para validação. Porém, para evitar que a ordenação original dos dados nos conjuntos interferisse nos resultados (por exemplo, em alguns conjuntos de dados, as classes ocorrem agrupadas e a mera divisão desses conjuntos em 2/3 e 1/3 pode resultar em conjuntos de treinamento ou validação em que todos os exemplos sejam da mesma classe), antes de serem divididos, os conjuntos de dados foram devidamente embaralhados. Além disso, para manter a proporção da distribuição de classes observada no conjunto de dados original, os dados para compor os conjuntos de treinamento e validação foram criteriosamente selecionados. Por exemplo, para um conjunto de dados original contendo 60% de exemplos de uma classe e 40% de outra, foram selecionados 2/3 dos dados, de modo que 60% fossem de uma classe e os demais 40% fossem da outra classe.

O método *holdout* é indicado para conjuntos de dados grandes. Para conjuntos de dados pequenos, a acurácia calculada pode sofrer muita variação (especialmente, devido ao embaralhamento dos dados). Mesmo assim, os resultados obtidos são úteis para avaliar a capacidade de generalização dos modelos preditivos sintetizados.

Nos experimentos deste trabalho, foram feitas duas medições: *acurácia* e *g-measure* (Tabelas II e III, respectivamente). A acurácia representa a porcentagem dos acertos de predição, que pode ser elevada mesmo quando o modelo erra todas as predições relativas a uma das classes (por exemplo, se o conjunto original de dados tem 99 exemplos da classe *A* e apenas 1 exemplo da classe *B*, um modelo preditivo que “chuta” a predição *A* para toda instância tem uma acurácia de 99%). Para evitar esse problema, usamos a *g-measure*, que é a média geométrica entre taxas de acerto para cada possibilidade de classificação [9]. Assim, quando as instâncias de uma das classes são frequentemente erroneamente classificadas, o valor da *g-measure* indica a real precisão da classificação.

Tabela II – Medidas de acurácia.

Conjunto de dados	Acurácia	
	Média	Desvio Padrão
Bankruptcy	0.9873015873	0.0149716720
Car	0.9103448276	0.0276900542
Chess	0.8544600939	0.0193769256
Flare	0.9457865169	0.0082193857
Heart	<b>0.6887640449</b>	0.0439793849
House votes	0.9125000000	0.0582614500
Kr-vs-k	0.9869146006	0.0040361199
Lenses	<b>0.7791666667</b>	0.0848638192
Mushroom	0.9473916888	0.0172196717
Nursery	1.0000000000	0.0000000000
Tic-tac-toe	<b>0.6645833333</b>	0.0498741232
Iris	0.9575163399	0.0230761695

Tabela III – Medidas *g-measure*.

Conjunto de dados	G-Measure	
	Média	Desvio Padrão
Bankruptcy	0.9860197483	0.0020104407
Car	0.8859770858	0.0141982403
Chess	0.8561947257	0.0056985925
Flare	<b>0.5039453463</b>	0.0291906847
Heart	0.7006423324	0.0198258911
Housevotes	0.9071918226	0.0201970488
Kr-vs-k	0.7383559707	0.0206526145
Lenses	0.7735491466	0.0308711535
Mushroom	0.9280810181	0.0034354662
Nursery	1.0000000000	0.0000000000
Tic-tac-toe	<b>0.6059691723</b>	0.0137568654
Iris	0.9438368418	0.0096374854

Os resultados apresentados na Tabela II mostram que, para a maioria dos conjuntos de dados usados nos experimentos (75%), a acurácia média dos modelos preditivos sintetizados pelo classificador bayesiano desenvolvido é alta (acima de 85%). Esses resultados foram obtidos a partir de 30 execuções para cada conjunto de dados (para reduzir o impacto da variação resultante do embaralhamento dos conjuntos de dados) e, como os desvios padrão são baixos, essas acurácias são confiáveis. Ademais, os resultados na Tabela III também mostram que, para a maioria dos casos (83,3%), a *g-measure* dos modelos é superior a 70% (também com desvios padrão baixos), o que aumenta a confiabilidade dos resultados.

Além dos experimentos sumarizados nas Tabelas II e III, também foi feito um experimento preliminar (que será estendido em trabalho futuro) para investigar a influência da discretização de atributos contínuos na acurácia dos modelos sintetizados. Esse experimento foi feito com dois conjuntos de dados descritos em [2]. O primeiro deles é aquele na Figura 9, o segundo é um conjunto equivalente em que os atributos contínuos foram manualmente discretizados (ou seja, *temperature* passou a assumir valores do conjunto {hot, mild, cool} e *humidity* passou a assumir valores do conjunto {high, normal, low}). Embora a acurácia obtida com ambos os conjuntos de dados tenha sido baixa (devido ao fato de eles serem muito pequenos para possibilitar generalização indutiva), os resultados apresentados na Tabela IV indicam que a acurácia pode aumentar com a discretização de atributos. Isso pode ser explicado pelo fato de que nem todo atributo contínuo possui uma distribuição normal, como é assumido pelo algoritmo *Naïve-Bayes*. Então, uma vez que tais atributos contínuos sejam discretizados, a obtenção de probabilidades por contagem pode ser mais precisa.

Tabela IV – Influência da discretização de atributos.

	Atributos	
	Contínuos	Discretizados
Acurácia	0.52666667	0.64000000
G-Measure	0.33537479	0.36671772

## 5. Conclusão

Os resultados dos experimentos realizados mostraram que o classificador bayesiano implementado e descrito neste trabalho é capaz de sintetizar modelos preditivos com uma boa capacidade de generalização indutiva, a partir de exemplos. Para alguns conjuntos de dados testados, o classificador implementado chegou a apresentar acurácia e *g-measure* melhores do que aquelas obtidas com o WEKA [11], um sistema de mineração de dados bem conhecido na área. Por exemplo, para os conjuntos de dados *Heart* e *Tic-tac-toe*, as acurácias obtidas com o WEKA foram de 0.647 e 0.60, respectivamente [9].

Os resultados obtidos com o experimento sobre a influência da discretização de atributos contínuos também foram encorajadores e, como trabalho futuro, pretendemos implementar algoritmos de discretização automática de atributos contínuos e investigar mais profundamente

este aspecto. Inicialmente, serão considerados os métodos de discretização existentes na literatura. Posteriormente, dependendo dos resultados obtidos, será investigada a possibilidade de criar um método de discretização que possa determinar automaticamente se vale a pena discretizar um ou mais atributos contínuos, a fim de aumentar a acurácia dos modelos preditivos sintetizados.

Como continuidade deste trabalho, será aprimorada a interface de usuário do sistema implementado, visando a apresentação de gráficos que mostrem, por exemplo, a distribuição dos exemplos nas classes dos conjuntos de dados e que exibam os resultados de desempenho obtidos.

## Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica<sup>1</sup> (Processo Nº 107647/2017-6).

## Referências Bibliográficas

- [1] A. Blum. **Machine Learn Theory**. Carnegie Mellon University, Department of Computer Science. Disponível em: [www.cs.cmu.edu/afs/cs/user/avrim/www/Talks/mlt.pdf](http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/user/avrim/www/Talks/mlt.pdf). Acesso em: 26/04/2017.
- [2] I. H. Witten; E. Frank; M. A. Hall. **Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques**, 3<sup>rd</sup> edition, Elsevier, 2011.
- [3] D. Michie et al. **Machine Learning, Neural and Statistical Classification**, 1994. Disponível em: [www1.maths.leeds.ac.uk/~charles/statlog/whole.pdf](http://www1.maths.leeds.ac.uk/~charles/statlog/whole.pdf). Acesso em: 25/04/2017.
- [4] E. Keogh. **Naïve Bayes Classifier**. University of California, Riverside. Disponível em: [www.cs.ucr.edu/~eamonn/CE/Bayesian%20Classification%20withInsect\\_examples.pdf](http://www.cs.ucr.edu/~eamonn/CE/Bayesian%20Classification%20withInsect_examples.pdf). Acesso em: 26/04/2017.
- [5] D. Barber. **Bayesian Reasoning and Machine Learning**, draft, University College London, 2010. Disponível em: [web4.cs.ucl.ac.uk/staff/D.Barber/textbook/090310.pdf](http://web4.cs.ucl.ac.uk/staff/D.Barber/textbook/090310.pdf). Acesso em: 26/04/2017.
- [6] **Introduction to Probability Theory, Lecture 6: Bayes' Theorem**. PennState University. Disponível em: [onlinecourses.science.psu.edu/stat414/node/45](http://onlinecourses.science.psu.edu/stat414/node/45). Acesso em: 26/04/2017.
- [7] V. L. Ceder. **The Quick Python Book**, 2<sup>nd</sup> edition, Manning Publications Co., USA, 2010.
- [8] **ARFF (stable version)**. University of Waikato (WEKA). Disponível em: [weka.wikispaces.com/ARFF+%28stable+version%29](http://weka.wikispaces.com/ARFF+%28stable+version%29). Acesso em: 26/04/2017.
- [9] R. Morgon; S. L. Pereira. **Evolutionary Learning of Concepts**. Journal of Computer and Communications, vol. 2, pp. 76-86. Disponível em: <http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=47412>. Acesso em: 26/04/2017.
- [10] **UCI Machine Learning Repository**. Disponível em: [archive.ics.uci.edu/ml/datasets.html?sort=nameUp&view=list](http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets.html?sort=nameUp&view=list). Acesso em: 17/04/2017.
- [11] **Weka 3**. University of Waikato. Disponível em: [www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/](http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/). Acesso em: 26/04/2017.

# LABLOG: UM LABORATÓRIO VIRTUAL DE LÓGICA

Guilherme Vaz França Reis<sup>1</sup>, Silvio do Lago Pereira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Aluno do Curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas – FATEC-SP

<sup>2</sup>Prof. Dr. do Departamento de Tecnologia da Informação – FATEC-SP

guilherme.reis01@fatec.sp.gov.br, slago@fatecsp.br

## Resumo

Lógica simbólica é um conteúdo normalmente abordado em Matemática Discreta, uma disciplina básica em cursos na área de computação. Embora o domínio desse conteúdo seja fundamental na formação de profissionais desses cursos, para muitos estudantes, a lógica simbólica é apenas uma teoria sem muita aplicação prática. Em decorrência deste fato, e devido à dificuldade que os estudantes têm de lidar com conceitos abstratos, o estudo de lógica simbólica acaba sendo negligenciado. Ademais, como os conceitos de lógica simbólica são geralmente difíceis de representar e entender, o desenvolvimento de *software* educacional neste domínio ainda é considerado um grande desafio. Neste contexto, o objetivo deste artigo é descrever um protótipo de laboratório virtual para realização de experimentos em lógica simbólica, que foi desenvolvido em Prolog, e relatar resultados empíricos obtidos com ele.

## 1. Introdução

Lógica simbólica [1] é um formalismo que representa conhecimento e raciocínio usando expressões simbólicas, em vez de sentenças de uma linguagem natural. Há vários sistemas de lógica simbólica, sendo que os principais são a *lógica proposicional*, cujo foco é a proposição atômica (i.e., sentença que pode ser verdadeira ou falsa, mas não as duas coisas simultaneamente), e a *lógica de predicados*, cujo foco é a generalização das proposições, com base em conceitos ainda mais abstratos que permitem, por exemplo, a análise da estrutura interna das proposições. Nestes dois sistemas lógicos, o conhecimento é representado por expressões simbólicas, denominadas *fórmulas*, enquanto o raciocínio pode ser representado por padrões de manipulação sintática de expressões simbólicas, denominados *regras de inferência* (e.g., *modus ponens* e *modus tollens*).

Devido ao seu alto nível de abstração, conceitos de lógica simbólica são geralmente difíceis de representar e entender. De fato, uma pesquisa recentemente publicada, conduzida por psicólogos cognitivos [2], mostrou que boa parte dos estudantes universitários não é capaz de aplicar corretamente as regras de inferência clássicas (Figura 1).

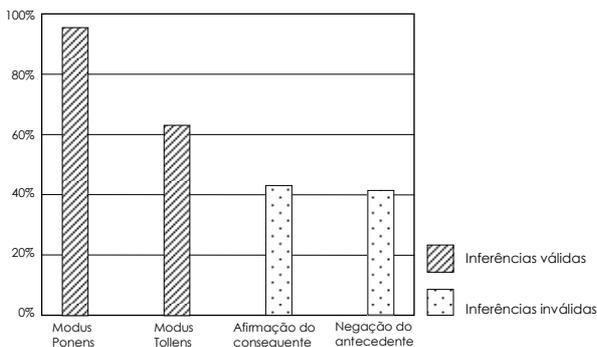


Figura 1 – Inferências feitas por estudantes universitários [2].

O resultado dessa pesquisa evidencia um problema que precisa ser solucionado, pois um profissional que não é capaz de diferenciar inferências válidas e inválidas está propenso a cometer erros de raciocínio que podem ter consequências desastrosas para a sua carreira, ou mesmo para a vida de outras pessoas afetadas por suas decisões. Uma forma de contribuir para a solução desse problema é, justamente, propor *software* educacional para facilitar a aprendizagem de lógica simbólica em Matemática Discreta. Porém, devido à complexidade do assunto, o desenvolvimento de *software* neste domínio ainda é considerado um grande desafio para a área de computação [3].

Neste contexto, este artigo tem como objetivo propor um *laboratório virtual de lógica simbólica*, que permite ao estudante realizar experimentos abstratos em cenários virtuais, que são análogos a cenários concretos. Esse *software* educacional, desenvolvido em Prolog [4] com base em conceitos de aprendizagem ativa [5], é um ambiente de simulação computacional interativo, que visa estimular o estudante a se envolver no seu próprio processo cognitivo.

O restante do artigo está organizado do seguinte modo: a Seção 2 introduz a fundamentação teórica do trabalho; a Seção 3 descreve a arquitetura e as funcionalidades do protótipo de laboratório virtual de lógica que foi desenvolvido; a Seção 4 relata experimentos feitos com o protótipo; e a Seção 5 apresenta as conclusões finais do trabalho.

## 2. Fundamentação Teórica

Os fundamentos teóricos desse trabalho são aprendizagem ativa, laboratório virtual e aprendizado multimídia.

### 2.1. Aprendizagem Ativa

*Aprendizagem ativa* [5] pode ser definida como qualquer método de ensino que engaja o aluno no seu processo de aprendizagem. Embora essa definição englobe atividades pedagógicas tradicionais como, por exemplo, lição de casa, na prática, ela refere-se às atividades propostas em sala de aula. A aprendizagem ativa requer que os alunos realizem atividades de aprendizagem significativas e que pensem sobre o que estão fazendo. Ao contrário de métodos tradicionais, como aulas expositivas, que admitem um papel passivo do aluno, a aprendizagem ativa exige *ação* e *engajamento* e, portanto, um papel *proativo* do aluno.

Apesar das dificuldades de medir e comparar a eficiência de diferentes métodos de ensino (e.g. definição precisa dos métodos comparados e escolha dos indicadores de eficiência), pesquisas feitas na área de educação têm encontrado fortes evidências empíricas de uma maior eficiência da aprendizagem ativa, quando comparada a métodos de ensino tradicionais [5]. Por exemplo, numa pesquisa feita com milhares de alunos universitários americanos, *Law et al.* [6] observaram que, enquanto os métodos tradicionais aumentaram a compreensão dos alunos sobre conceitos de cinemática em até 15%, os métodos de aprendizagem ativa puderam aumentar a compreensão em até 90% (Figura 2).

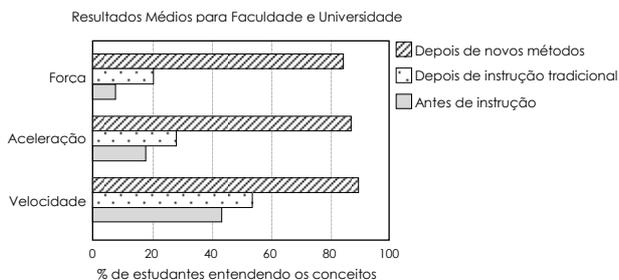


Figura 2 – Aumento da compreensão de conceitos de física [6].

Outra pesquisa interessante, conduzida por *Freeman et al.* [7], constatou que o aprendizado ativo aumenta o desempenho médio dos alunos universitários dos cursos de ciências, tecnologia, engenharia e matemática (STEM) em cerca de 6% e que os alunos com aulas tradicionais eram 1,5 vezes mais propensos à reprovação do que os alunos submetidos ao aprendizado ativo (Figura 3).

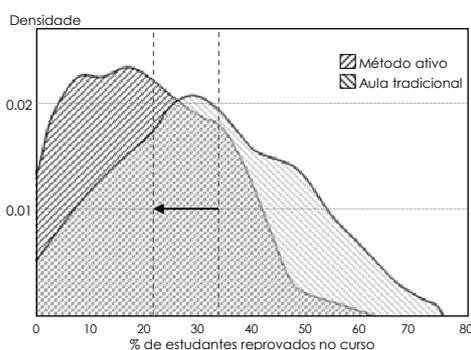


Figura 3 – Diminuição de reprovação de 33,8% para 21,8% [7].

## 2.2. Laboratório Virtual

Laboratório baseado em computador é um método de aprendizagem ativa que estimula o engajamento dos alunos. Uma comparação dos resultados de 11 aulas ministradas por 6 professores, com e sem laboratórios, mostrou que o uso dos laboratórios computacionais aliados a atividades engajadoras resultou em uma melhoria significativa (medida por meio da aplicação de testes de múltipla escolha cuidadosamente elaborados) em comparação com as aulas expositivas tradicionais [8].

O laboratório para uso de métodos de aprendizagem ativa pode ser *real (hands-on)* ou *virtual* (i.e., sistema que realiza simulações computacionais [9] ou que controla remotamente experimentos feitos em um laboratório real).

Um estudo feito por *Hawkins* [10] separou aleatoriamente estudantes de Química Geral II em dois grupos: um deles realizou experimentos de eletroquímica em um laboratório real, enquanto o outro realizou os mesmos experimentos em um laboratório virtual correspondente. Para comparar os dois grupos, foram aplicados testes conceituais antes e depois das aulas em laboratório (real e virtual), além de um teste final *hands-on* para ambos os grupos. Após a análise dos resultados dos testes aplicados, observou-se que não houve diferença estatisticamente significativa entre os dois grupos. Outro estudo feito em duas grandes universidades também mostrou que os laboratórios virtuais foram tão eficazes quanto os tradicionais laboratórios *hands-on* no estudo de física [11].

## 2.3. Teoria Cognitiva de Aprendizado Multimídia

No ensino de lógica simbólica, um laboratório virtual é um recurso pedagógico para sedimentar o conhecimento adquirido pelo aluno em sala de aula, na medida em que: (a) permite que conceitos abstratos da lógica sejam concretizados em representações visuais e (b) exige um papel proativo do aluno no seu próprio processo cognitivo.

De fato, segundo a *Teoria Cognitiva de Aprendizado Multimídia* [12, 13], o aprendizado é mais profundo e significativo quando os conceitos são concretizados em imagens associadas a palavras do que quando eles são definidos apenas textualmente. Sendo assim, ambientes de aprendizagem computacionais (e.g., laboratórios virtuais) oferecem inúmeras possibilidades para aprimorar o aprendizado, especialmente quando eles permitem que os estudantes manipulem objetos e verifiquem propriedades decorrentes desta manipulação.

Há diversos laboratórios virtuais para estudo de vários assuntos; porém, para lógica, eles ainda são muito raros. Especialmente, para lógica de predicados, *Tarski's World* [14] é um dos poucos laboratórios virtuais existentes. Usando o *Tarski's World*, o estudante pode entender mais facilmente a semântica das proposições, dos conectivos e dos quantificadores universal e existencial. Ele permite ao aluno construir mundos virtuais, compostos por blocos de vários formatos e tamanhos, distribuídos numa plataforma similar a um tabuleiro de xadrez, e analisar a semântica de fórmulas que descrevem propriedades desses mundos. O sistema é bastante interativo e oferece *feedback* sobre eventuais erros, fazendo com que o estudante se sinta mais envolvido e motivado a aprender os conceitos estudados. Apesar disso, *Tarski's World* requer o pagamento de uma licença de uso e exige que o usuário tenha conhecimento da língua inglesa, o que pode ser mais um fator limitante.

## 3. O Sistema LabLog

Tendo em mente a dificuldade dos alunos com lógica (Seção 1) e a efetividade dos métodos de aprendizagem ativa, aliados ao uso de laboratórios virtuais, no processo de aquisição cognitiva (Seção 2), um protótipo de laboratório virtual de lógica simbólica, *LabLog\**, foi criado em SWI-Prolog (*Multi-threaded*, 64 bits, versão 7.4.0) [4]. A janela principal desse sistema é apresentada Figura 4.

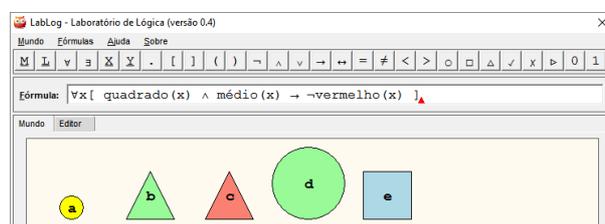


Figura 4 – Janela principal do sistema *LabLog*.

O *LabLog* é um ambiente interativo que oferece recursos para a realização de experimentos em lógica proposicional e lógica de predicados. Com esse sistema, o aluno pode: criar, salvar e carregar *mundos* contendo objetos; criar, salvar e carregar *fórmulas* lógicas envolvendo propriedades e relações entre objetos; avaliar as fórmulas; e esclarecer dúvidas a respeito de seus valores lógicos.

\* Disponível em [www.ime.usp.br/~slago/lablog.pl](http://www.ime.usp.br/~slago/lablog.pl).

### 3.1. Arquitetura do Sistema

O sistema *LabLog* é composto de um módulo principal e mais cinco módulos auxiliares, como mostra a Figura 5.



Figura 5 – Arquitetura do sistema *LabLog*.

Segue uma breve descrição de cada módulo:

- O módulo *LabLog* cria a interface gráfica de usuário (com a biblioteca gráfica XPCE [15]) e promove a integração entre os demais módulos do sistema.
- O módulo *Mundo* cria, altera e destrói objetos do mundo virtual. Cada objeto é representado na base de conhecimentos do Prolog por um fato do formato objeto ( $N, F, T, C, P$ ), onde  $N$  é o nome,  $F$  é a forma (círculo, quadrado ou triângulo),  $T$  é o tamanho (pequeno, médio ou grande),  $C$  é a cor (azul, verde, amarelo ou vermelho), e  $P$  é a posição (coordenadas  $x$  e  $y$ ) do objeto no mundo virtual.
- O módulo *Sintaxe* traduz textos digitados pelo usuário, representando fórmulas da lógica de predicados, num formato que pode ser interpretado pelo sistema. Por exemplo, o texto ' $\forall x. \text{quadrado}(x)$ ' é traduzido em  $\forall(\_G4651, \text{quadrado}(\_G4651))$ , sendo  $\_G4651$  o endereço interno da variável  $x$ . A tradução é feita por uma gramática especificada em notação DCG (*Definite Clause Grammar*), que é nativa do Prolog.
- O módulo *Semântica* interpreta as fórmulas traduzidas e avalia seus valores lógicos. Além da semântica dos conectivos e quantificadores, esse módulo define a semântica dos predicados que representam propriedades dos objetos (e.g.,  $\text{quadrado}/1$ ,  $\text{grande}/1$  e  $\text{azul}/1$ ), bem como predicados que representam relações entre objetos (e.g.,  $\text{acima}/2$  e  $\text{esquerda}/2$ ).
- O módulo *Raciocínio* cria, avalia e salva conjuntos de fórmulas digitadas pelo usuário no editor de textos do sistema (usando funcionalidades implementadas nos módulos *Mundo*, *Sintaxe* e *Semântica*).
- O módulo *Tutoria* implementa um algoritmo de explanação de fórmulas baseado no uso de *equivalências lógicas*, *decomposição estrutural recursiva* e busca de *contra-exemplos* para sub-fórmulas. Por exemplo, suponha que no mundo haja apenas um círculo grande  $a$  e um círculo pequeno  $b$ , e que o usuário informe que ele acha que, nesse mundo, a fórmula  $\forall x[\text{círculo}(x) \rightarrow \text{pequeno}(x)]$  é verdadeira. Para encontrar o erro do usuário, o algoritmo aplica a equivalência  $\alpha \rightarrow \beta \equiv \neg\alpha \vee \beta$ , e obtém a fórmula  $\forall x[\neg\text{círculo}(x) \vee \text{pequeno}(x)]$ , cuja decomposição estrutural resulta em  $\neg\text{círculo}(x)$ ,  $\text{círculo}(x)$  e  $\text{pequeno}(x)$ ; depois, ele nota que  $x=a$  é um contra-exemplo para  $\text{pequeno}(x)$ . Finalmente, ele mostra ao usuário que, para  $x=a$ , as fórmulas  $\neg\text{círculo}(a)$  e  $\text{pequeno}(a)$  são falsas; que, conseqüentemente, a fórmula  $\neg\text{círculo}(a) \vee \text{pequeno}(a)$  é falsa; e que, portanto, a fórmula  $\forall x[\neg\text{círculo}(x) \vee \text{pequeno}(x)]$  não pode ser verdadeira (no mundo considerado).

### 3.2. Funcionalidades do Sistema

As funcionalidades do *LabLog* são disponibilizadas em uma interface gráfica composta por *menu* (com opções para abrir e salvar mundos e fórmulas), *teclado virtual* (com botões para inserção de quantificadores e operadores, além de botões para funções básicas tais como criação de mundos aleatórios, avaliação de fórmulas e ativação de tutoria), *caixa de entrada* (para digitação de fórmulas), e *abas* (uma para exibição do mundo e outra para o editor de textos), como indicado na Figura 6.

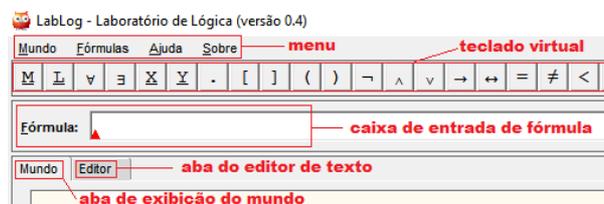


Figura 6 – Componentes da interface gráfica do *LabLog*.

#### 3.2.1. Criação de Objetos e Mundos

Há duas formas de criação de mundos: a primeira, e mais simples, consiste em clicar o botão  $M$  do teclado virtual (nesse caso, o sistema constrói automaticamente um mundo composto de um número aleatório de objetos, com propriedades escolhidas aleatoriamente); a segunda consiste em clicar com o botão direito na aba do mundo, escolher uma forma para o objeto a ser criado (nesse caso um objeto com a forma escolhida é criado; porém, suas demais propriedades são escolhidas aleatoriamente pelo sistema) e, depois, clicar com o botão direito sobre o objeto criado, para alterar suas propriedades. A Figura 7 ilustra o processo de criação de um objeto específico.

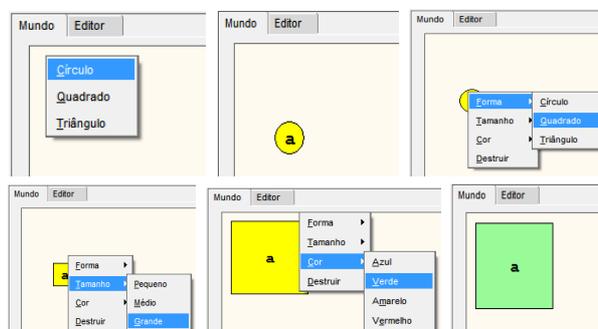


Figura 7 – Etapas para criação de um quadrado grande verde.

Os objetos criados são nomeados automaticamente (de  $a$  a  $z$ ) e distribuídos por linha. Note que a forma inicial do objeto criado também pode ser modificada durante o processo de edição de propriedades. Depois de criado, o mundo pode ser salvo num arquivo com extensão  $.mnd$ , via menu *Mundo* (depois de salvo, ele pode ser aberto).

#### 3.2.2. Criação e Avaliação de Fórmulas

Para criar uma fórmula, basta digitá-la na caixa de entrada, usando o teclado virtual para inserção de quantificadores e operadores, como mostra a Figura 8.

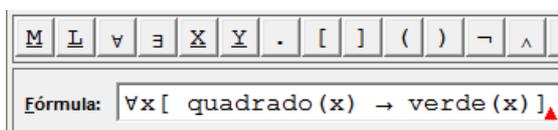


Figura 8 – Criação de fórmula.

Para avaliar uma fórmula, basta clicar o botão ✓ do teclado virtual. Então, o sistema informa se a fórmula é verdadeira, falsa ou se tem erro de sintaxe (Figura 9).

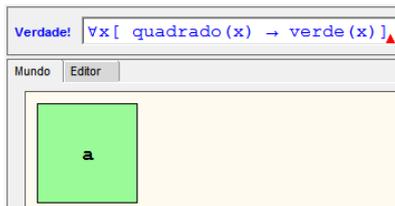


Figura 9 – Avaliação de fórmula no mundo considerado.

Há também a opção de criar um conjunto de fórmulas, usando o editor de textos, e avaliá-las clicando o botão ▷, do teclado virtual, como na Figura 10. Depois de criado, o conjunto de fórmulas pode ser salvo num arquivo .frm, via menu Fórmulas.

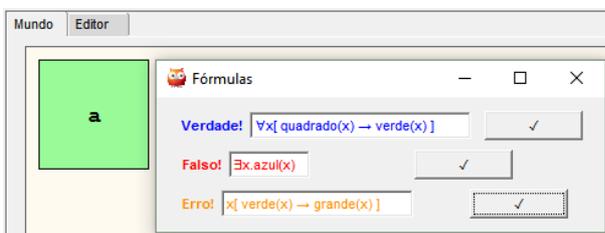


Figura 10 – Avaliação de um conjunto de fórmulas do editor.

Por convenção, todo nome quantificado (universal ou existencialmente) é tratado como uma variável, sendo que os demais são tratados como constantes. Por exemplo, em azul(a), o nome a refere-se ao objeto a; enquanto em  $\exists a.azul(a)$ , o nome a refere-se a um objeto qualquer.

### 3.2.3. Tutoria e Explicação de Semântica

A tutoria visa explicar ao usuário o motivo pelo qual sua intuição a respeito do valor lógico de uma fórmula está errada. Essa funcionalidade é essencial para um software educacional, pois a correção passo a passo de eventuais erros dos alunos permite que eles melhorem seus desempenhos em casos similares no futuro.

Para ativar esse sistema, o usuário precisa digitar uma fórmula e, caso ele ache que a fórmula é falsa (ou verdadeira), clicar no botão 0 (ou 1) do teclado virtual.

Fórmulas não quantificadas podem ser facilmente verificadas pelo aluno, pela simples observação do mundo, que está na aba Mundo. No caso de fórmulas quantificadas, existem quatro casos para correção:

- Se uma fórmula universal ( $\forall$ ) é verdadeira, e o aluno a avaliou como falsa, o sistema pede ao aluno o nome do objeto do mundo que falsifica a fórmula, visando esclarecer que não existe tal objeto.
- Se uma fórmula universal ( $\forall$ ) é falsa, e o aluno a avaliou como verdadeira, o sistema mostra ao aluno o nome de um objeto que torna a fórmula falsa.
- Se uma fórmula existencial ( $\exists$ ) é verdadeira, e o aluno a avaliou como falsa, o sistema mostra ao aluno o nome de um objeto que a torna verdadeira.
- Se uma fórmula existencial ( $\exists$ ) é falsa, e o aluno a avaliou como verdadeira, o sistema pede ao aluno o nome do objeto do mundo que falsifica a fórmula, visando esclarecer que não existe tal objeto.

A Figura 11 mostra um exemplo de tutoria, considerando um mundo onde existem apenas os seguintes objetos: um círculo a, um quadrado b e um triângulo c. A fórmula do aluno é  $\exists x[\text{círculo}(x) \wedge \forall y[\neg \text{círculo}(y) \rightarrow \text{quadrado}(y)]]$  (i.e., “existe um círculo e tudo que não é círculo é quadrado”), e sua intuição é que ela é verdadeira.

Você acha que  $\exists x[\text{círculo}(x) \wedge \forall y[\neg(\text{círculo}(y)) \rightarrow \text{triângulo}(y)]]$  é verdadeira. Por favor, informe um objeto que torna essa fórmula verdadeira: [a-z] a

Você acha que:

(1) círculo(a) e

(2)  $\forall x[\neg(\text{círculo}(x)) \rightarrow \text{triângulo}(x)]$  são verdadeira? [s/n] s

Considere que:

(1)  $\neg(\text{círculo}(b)) \rightarrow \text{triângulo}(b)$  e

(2)  $\neg(\text{círculo}(b)) \vee \text{triângulo}(b)$  são fórmulas equivalentes.

Você acha que:

(1)  $\neg(\text{círculo}(b))$  ou

(2) triângulo(b) é verdadeira? [s/n] s

Você acha que  $\neg(\text{círculo}(b))$  é verdadeira.

Você acha que  $\neg(\text{círculo}(b))$  é falsa.

Você acha que círculo(b) é verdadeira? [s/n] s

Você está errado, círculo(b) é falsa.

Portanto,  $\neg(\text{círculo}(b))$  é verdadeira.

Portanto,  $\neg(\text{círculo}(b))$  é falsa.

Você acha que triângulo(b) é verdadeira? [s/n] s

Você está errado, triângulo(b) é falsa.

Portanto,  $\neg(\text{círculo}(b)) \vee \text{triângulo}(b)$  também é falsa.

Portanto,  $\neg(\text{círculo}(b)) \vee \text{triângulo}(b)$  também é falsa.

Assim,  $\forall x[\neg(\text{círculo}(x)) \rightarrow \text{triângulo}(x)]$  é falsa para  $x=b$ .

Portanto,  $\forall x[\neg(\text{círculo}(x)) \rightarrow \text{triângulo}(x)]$  é falsa.

Portanto, círculo(a)  $\wedge$   $\forall x[\neg(\text{círculo}(x)) \rightarrow \text{triângulo}(x)]$  também é falsa.

De fato, não existe objeto que torne  $\exists x[\text{círculo}(x) \wedge \forall y[\neg(\text{círculo}(y)) \rightarrow \text{triângulo}(y)]]$  verdadeira.

Portanto,  $\exists x[\text{círculo}(x) \wedge \forall y[\neg(\text{círculo}(y)) \rightarrow \text{triângulo}(y)]]$  é falsa.

Você perdeu!

Figura 11 – Explicação de semântica pelo tutor.

A lógica do sistema de tutoria já está completa; porém, ainda será desenvolvida uma interface gráfica para essa funcionalidade. Por enquanto, a interação com o usuário é feita através da janela do interpretador Prolog. A ideia é que esse sistema funcione como um jogo, no qual o usuário pode acumular pontos ao longo do seu aprendizado e ficar ainda mais motivado (em resolver desafios propostos pelo instrutor, que poderá também ser automatizado).

## 4. Experimentos Realizados com o LabLog

Nesta seção, descrevemos alguns dos experimentos realizados para testar as funcionalidades do protótipo do sistema desenvolvido e analisamos os resultados obtidos.

### 4.1. Experimento I: Veracidade por Vácuo

Este primeiro experimento consiste em perguntar ao aluno se a fórmula  $\forall x[\text{círculo}(x) \rightarrow \text{azul}(x)]$  (i.e., “todo círculo é azul”) é verdadeira, no mundo da Figura 12. Em geral, o aluno tem a intuição de que essa fórmula é falsa; porém, ao obter o feedback do sistema, ele vê que ela é verdadeira. Depois, pede-se que ele avalie a fórmula  $\exists x[\text{círculo}(x) \wedge \neg \text{azul}(x)]$  (i.e., “existe um círculo que não é azul”). Nesse caso, a intuição do aluno corresponde ao feedback do sistema, que indica que a fórmula é falsa (Figura 13), pois isso pode ser facilmente constatado no mundo considerado. Finalmente, para que o aluno entenda porque a primeira fórmula é verdadeira (o que, em geral, não é evidente para ele), basta mostrar que a segunda fórmula é a negação da primeira. Logo, se a segunda fórmula é falsa, a primeira tem que ser verdadeira.

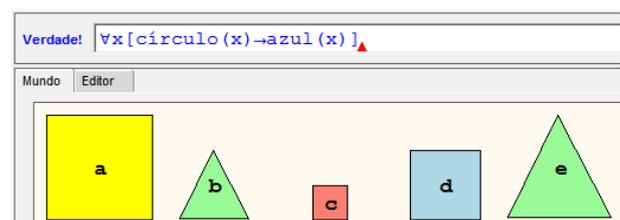


Figura 12 – Veracidade por vácuo.

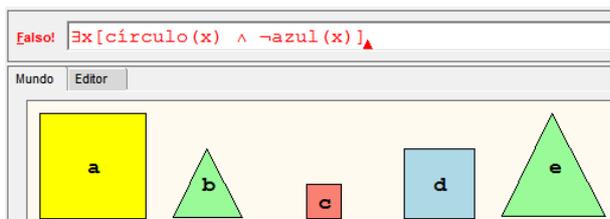


Figura 13 – Negação da fórmula na Figura 12.

### 4.2. Experimento II: Ordem de Quantificação

O segundo experimento visa ressaltar a importância da correta ordenação de quantificadores universais e existenciais, para que uma fórmula lógica corresponda, de fato, a uma determinada sentença em português.

Supondo que a fórmula  $\text{ama}(x, y)$  codifica a sentença “ $x$  ama  $y$ ”, nota-se que as fórmulas (i)  $\forall x \exists y . \text{ama}(x, y)$  e (ii)  $\forall y \exists x . \text{ama}(x, y)$  não são equivalentes: a fórmula (i) estabelece que “*todos amam alguém*” (o que é verdade nas Figuras 14-a e 14-b), enquanto (ii) estabelece que “*alguém é amado por todos*” (o que é verdade só na Figura 14-b).

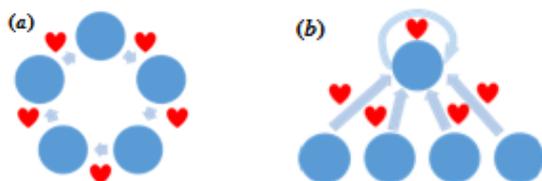
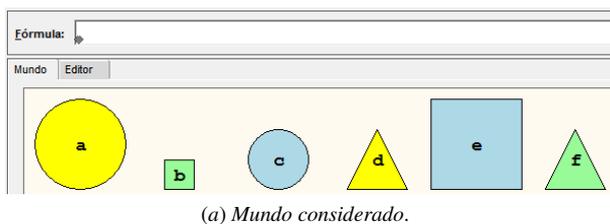
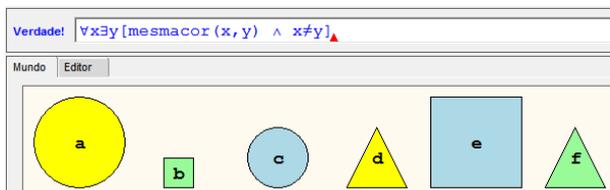


Figura 14 – Dois mundos possíveis.

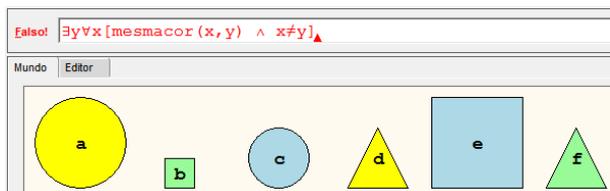
O experimento consiste em perguntar ao aluno se ele acha que as fórmulas  $\forall x \exists y [\text{mesmaCor}(x, y) \wedge x \neq y]$  e  $\exists y \forall x [\text{mesmaCor}(x, y) \wedge x \neq y]$  são ambas verdadeiras no mundo da Figura 15-a e, em seguida, pedir que ele avalie essas fórmulas no sistema. Caso a intuição do aluno sobre os valores dessas fórmulas não corresponda às respostas do sistema (Figuras 15-b e 15-c), ele deve ser encorajado a acessar o sistema de tutoria para esclarecer suas dúvidas.



(a) Mundo considerado.



(b) Valor da fórmula  $\exists x \exists y [\text{mesmaCor}(x, y) \wedge x \neq y]$ .



(c) Valor da fórmula  $\exists y \forall x [\text{mesmaCor}(x, y) \wedge x \neq y]$ .

Figura 15 – Importância da ordem dos quantificadores.

### 4.3. Experimento III: Inferências Clássicas

Este último experimento visa mostrar o uso das regras de inferência clássicas em provas por dedução.

A primeira regra de inferência clássica, denominada *modus ponens*, é definida pelo esquema  $MP(\alpha, \alpha \rightarrow \beta) \equiv \beta$ . Por exemplo, a partir das sentenças “*todo triângulo é pequeno*” e “*o objeto ‘a’ é um triângulo*”, o MP deriva “*o objeto ‘a’ é pequeno*”. Para testar essa regra, o aluno deve usar o editor de textos do sistema para criar um conjunto de fórmulas correspondente e avaliá-las. Note que essa regra de inferência é *válida* e, portanto, a sua conclusão é verdadeira sempre que suas premissas são verdadeiras. A Figura 16 mostra o conjunto de fórmulas e a Figura 17 mostra a avaliação dessas fórmulas em quatro mundos possíveis.

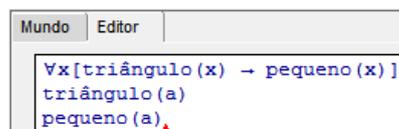


Figura 16 – Fórmulas para uso de *modus ponens*.

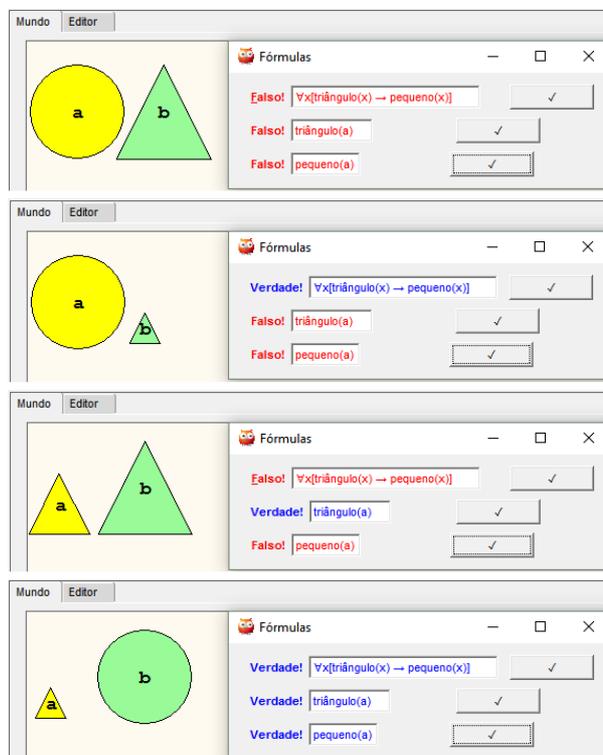


Figura 17 – Inferência com *modus ponens*.

A segunda regra de inferência clássica, denominada *modus tollens*, é definida como  $MT(\alpha \rightarrow \beta, \neg\beta) \equiv \neg\alpha$ . Por exemplo, a partir das sentenças “*todo triângulo é pequeno*” e “*o objeto ‘a’ não é pequeno*”, o MT deriva “*o objeto ‘a’ não é triângulo*”. Assim como o *modus ponens*, o *modus tollens* é uma regra de inferência válida. A Figura 18 mostra o conjunto de fórmulas e a Figura 19 mostra a avaliação dessas fórmulas em quatro mundos possíveis.

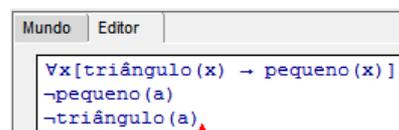


Figura 18 – Fórmulas para uso de *modus tollens*.

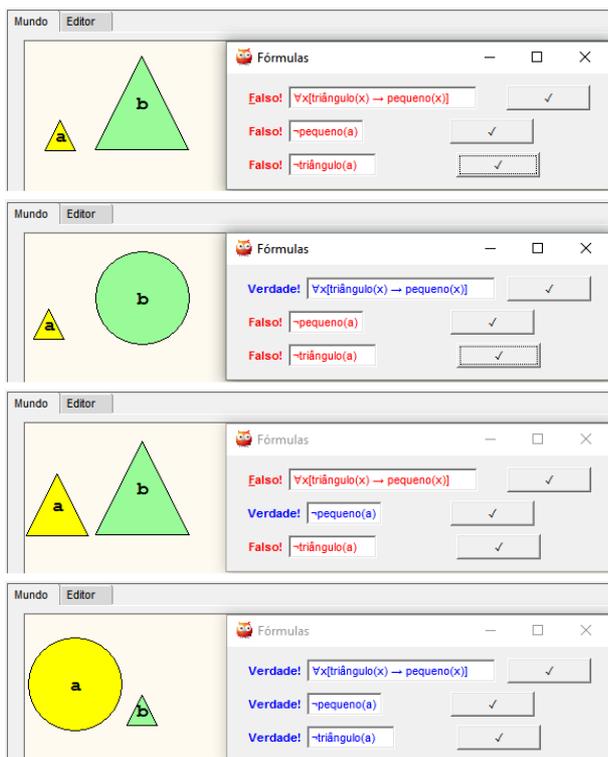


Figura 19 – Inferência com *modus tollens*.

A terceira regra de inferência clássica, *silogismo hipotético*, é definida por  $SH(\alpha \rightarrow \beta, \beta \rightarrow \gamma) \equiv \alpha \rightarrow \gamma$ . Por exemplo, a partir das sentenças “todo triângulo é pequeno” e “tudo que é pequeno é verde”, o *SH* deriva “todo triângulo é verde”. Assim como as duas regras de inferências anteriores, o *silogismo hipotético* é uma regra de inferência válida e os resultados dos experimentos realizados com ela são similares àqueles já apresentados.

## 5. Conclusões

Com base nos fundamentos de aprendizagem ativa, laboratório virtual e teoria cognitiva de aprendizado multimídia, este artigo propõe um laboratório virtual de lógica simbólica, desenvolvido em Prolog, descreve detalhes de sua implementação, discute suas principais funcionalidades e relata resultados de experimentos realizados.

Os resultados dos experimentos mostraram que o sistema funciona de acordo com suas especificações e produz resultados que são coerentes com a teoria de lógica de predicados. Os testes com o módulo de tutoria, baseado em técnicas de prova automática e correção de erros, também produziram resultados corretos.

O laboratório virtual criado é um ambiente de simulação computacional interativo, que pode estimular o aluno a se envolver ativamente no seu processo de aprendizagem. Os experimentos mostraram que o protótipo permite a criação de mundos virtuais e a execução de experimentos que não podem ser facilmente feitos no mundo real. Ademais, ao guiar o aluno durante os experimentos, por meio de *feedbacks* e explicação de erros, ele o incentiva a adotar uma estratégia de investigação baseada em tentativa e erro, que exige uma postura mais proativa do aluno.

Como continuidade desse trabalho será desenvolvida uma interface gráfica para o sistema de tutoria; novos mundos e conjuntos de fórmulas serão projetados para

realização de novos experimentos que explorem conceitos de lógica que são difíceis para os alunos entenderem; as funcionalidades existentes serão aprimoradas e possíveis extensões do trabalho serão investigadas (como, por exemplo, experimentos didáticos com alunos do curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas da Fatec-SP).

## Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica<sup>1</sup> (Processo Nº 800321/2016-2).

## Referências Bibliográficas

- [1] G. Bezhanishvili; W. Fussner. **An Introduction to Symbolic Logic**. Disponível para download em: [www.cs.nmsu.edu/historical-projects/Projects/symbolic\\_logic8.pdf](http://www.cs.nmsu.edu/historical-projects/Projects/symbolic_logic8.pdf), acessado em 11/05/16.
- [2] J. R. Anderson. **Cognitive Psychology and Its Implications**. 8th ed., Worth Publishers, p. 239-241, 2015.
- [3] M. A. Brändle. **GraphBench: Exploring the Limits of Complexity with Educational Software**. Ph.D. Thesis, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, 2006.
- [4] I. Bratko. **Prolog Programming for Artificial Intelligence**, 4<sup>th</sup> ed., Pearson, 2011.
- [5] M. Prince. **Does active learning work? A review of the research**. Journal of Engineering Education, v. 93(3), p. 223-231, John Wiley & Sons, Inc., 2004.
- [6] P. Laws; D. Sokoloff; R. Thornton. **Promoting Active Learning Using the Results of Physics Education Research**. UniServe Science News, v. 13, 1999.
- [7] S. Freeman et al. **Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 111(23), p. 8410-8415, 2014.
- [8] E. Redish; J. Saul; R. Steinberg. **On the Effectiveness of Active-Engagement Microcomputer-Based Laboratories**. American Journal of Physics, v. 65(1), p. 45-54, 1997.
- [9] L. Mercer; P. Prusinkiewics; J. Hanan. **The Concept and Design of a Virtual Laboratory**. In: Proc. of Graphics Interface, Halifax, Nova Scotia, 14-18, 1990.
- [10] I. Hawkins. **Virtual laboratory vs. traditional laboratory: which is more effective for teaching electrochemistry?**. Chem. Educ. Res. Pract., v. 14, p. 516-523, 2013.
- [11] M. Darrach et al. **Are Virtual Labs as Effective as Hands-on Labs for Undergraduate Physics? A Comparative Study at Two Major Universities**. J. Sci. Educ. Technol., v. 23(6), p. 803-814, 2014.
- [12] S. D. Sorden. **The Cognitive Theory of Multimedia Learning**. Mohave Community College, Northern Arizona University, 2012.
- [13] R. E. Mayer. **Cognitive Theory of Multimedia Learning**. The Cambridge handbook of multimedia learning, 43-71, 2014.
- [14] D. Barker-Plummer; J. Barwise; J. Etchemendy. **Tarski's World: Revised and Expanded**. University of Chicago Press, 2004.
- [15] J. Wielemaker; A. Anjewierden. **Programming in XPE/Prolog**. Disponível para download em: <http://info.ee.pw.edu.pl/Prolog/Download/userguide.pdf>, acessado em 20/08/16.

# METODOLOGIA PARA ESTUDO E ANÁLISE DE DADOS DE ACELERAÇÃO EM UM PLANO INCLINADO OBTIDOS ATRAVÉS DA PLATAFORMA ARDUINO 101

Enrico Ceroblo Nadeo<sup>1</sup>, Marcos Norio Watanabe<sup>2</sup>, Milton Silva da Rocha<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Alunos de mestrado do curso engenharia elétrica da Universidade de São Paulo - USP

<sup>3</sup>Prof. Dr. do Departamento de Tecnologia da Informação - FATEC-SP

enriconadeo@hotmail.com, mrocha@fatecsp.br

## Resumo

Apresentação de metodologia para análise de dados de aceleração obtidos na plataforma Arduino 101 realizados no laboratório de Física da Fatec-SP e descrição da estrutura de hardware e software usada no experimento.

## 1. Introdução

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia experimental para obtenção e análise de dados de aceleração obtidos via plataforma Arduino 101 [1]. Para isto, foi aplicado modelo físico baseado em equilíbrio estático de um corpo em um plano inclinado em ângulos variando de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  em relação ao plano horizontal. Os valores das acelerações nas direções dos eixos  $x$ ,  $y$ , e  $z$  foram comparados aos valores previstos pelas equações de equilíbrio de um corpo em um plano inclinado. O trabalho apresenta as medidas realizadas, limitações experimentais e possíveis aplicações.

## 2. Métodos e materiais

O trabalho está baseado na plataforma *Open Source* Arduino [2], com hardware e software integrados com um dialeto de programação da linguagem C, programas exemplo e bibliotecas de apoio. Tem como unidade básica o Arduino Uno integrado com recursos de comunicação com outras plataformas e operação com dados analógicos e digitais. Estes recursos são ampliados por outros modelos Arduino e por placas encaixáveis denominadas *shields*.

O Arduino 101 expande os recursos do Arduino Uno integrando medidas de aceleração nos eixos  $x$ ,  $y$  e  $z$ . Na placa Arduino 101, os eixos  $x$  e  $y$  são posicionados no plano horizontal e o eixo  $z$  tem a direção vertical à placa. O Arduino 101 também fornece medidas de rotação em três eixos (giroscópio), ilustrado na Figura 1.

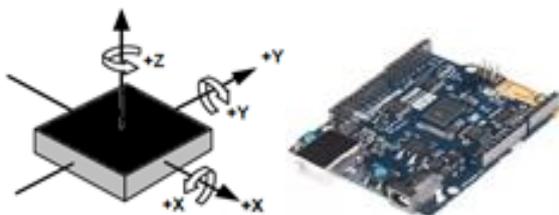


Figura 1. Arduino 101 e orientação dos eixos.

Os programas para o Arduino são desenvolvidos em um computador pessoal (ambiente Windows ou Linux) e transferidos para a placa Arduino via cabo USB (*Universal Serial Bus*). Resultados de processamento são transferidos do Arduino e recebidos pelo Programa Monitor Serial da plataforma Arduino.

O início do trabalho foi o estudo e compreensão dos mecanismos de obtenção, transmissão, recebimento e tratamento de dados. As medidas foram realizadas no Laboratório de Física da Fatec-SP e para a rotação do plano fixou-se o eixo  $x$ . Assim, a componente da aceleração na direção  $x$  independe da inclinação, conforme Figura 2.

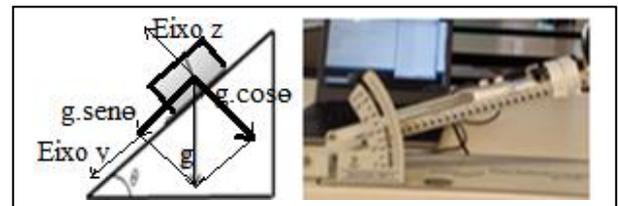


Figura 2. Eixos de referência ( $y$  e  $z$ ) no plano inclinado. Laboratório de Física - Fatec-SP.

A Figura 2 mostra a placa Arduino fixada ao plano e se comunicando ao computador pessoal por cabo USB.

## 2.1 O acelerômetro

A tecnologia MEMS (*Micro Electro Mechanical Systems*) [3] é a base tecnológica para a construção dos acelerômetros. O dispositivo MEMS no acelerômetro opera de forma análoga ao sistema massa e mola, conforme o esquema da Figura 3 [3].

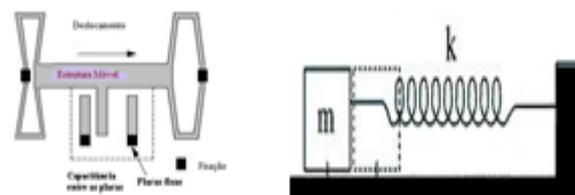


Figura 3. Superfície flexível e modelo massa mola para o dispositivo. A distância relativa entre as placas podem ser obtidas por medidas de efeitos capacitivos

O deslocamento relativo da estrutura móvel devido à aceleração da gravidade produz variação na distância relativa às placas. Em uma dimensão, o dispositivo pode ser modelado como um sistema massa mola onde o deslocamento de um corpo de massa  $m$  é relacionado à força  $f=k.z$ , sendo  $k$  a constante da mola e  $z$  o deslocamento entre as placas. Na direção do eixo  $z$ , normal à superfície da placa, o termo  $k.z$  é equilibrado pela componente  $m.g.\cos(\theta)$ . Assim  $kz - m.g.\cos(\theta) = 0$ . A expressão de equilíbrio pode ser reescrita como:

$$(k/m).z = g.\cos(\theta) \quad (1)$$

O termo  $(k/m).z$  tem a dimensão de aceleração e é informado pelo dispositivo através de medida indireta do deslocamento. Em outras palavras, a aceleração em um eixo é proporcional ao deslocamento entre as placas que pode ser obtida por medida de capacitância. Para cada um dos eixos ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ), há um sistema similar e independente para medida de aceleração ( $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$ ).

A unidade MPU6050, Figura 4, é um dispositivo para medição de aceleração em três eixos e recursos de comunicação com plataformas Arduino.



Figura 4. Acelerômetro e giroscópio de três eixos. Unidade MPU6050 [4] e circuitos de apoio.

A unidade MPU6050 é um Circuito Integrado (IC), que tem o apoio de programas exemplo e bibliotecas. O dispositivo fornece valores de aceleração em formatos analógico e digital e recursos para conexão, alimentação e troca de dados com o Arduino.

A plataforma Arduino 101, mostrado na Figura 1, incorpora numa placa, um acelerômetro de três eixos e recursos para comunicação e transmissão de dados.

## 2.2 Equações de equilíbrio no plano.

Para a inclinação inicial nula, o modelo massa mola requer algumas considerações para o equilíbrio estático. Sendo  $\theta=0$ , e sendo o deslocamento no eixo vertical, a aceleração  $a_z$  medida pelo acelerômetro será igual a  $g$  (aceleração da gravidade), conforme a Figura 5.

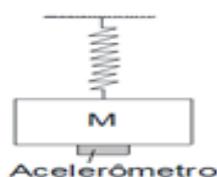


Figura 5. Acelerômetro com inclinação  $\theta=0$ . O deslocamento da massa ocorre no eixo vertical.

Para outros valores de inclinação, a dependência da aceleração na direção  $z$  é [5,6]:

$$a_z = g \cos(\theta) \quad (2)$$

A componente  $a_y$  é nula para  $\theta=0$  ( $a_y=0$ ). Com o aumento de  $\theta$  e sendo a rotação do plano com o eixo  $x$  fixo, a componente  $a_y$  é dada por:

$$a_y = g \sin(\theta) \quad (3)$$

## 2.3 Equações de equilíbrio no plano.

O software de aquisição de dados fornece valores de aceleração normalizados em relação à aceleração da gravidade, o que equivale a considerar  $g=1$ . Estando o plano do acelerômetro situado horizontalmente à superfície terrestre, os valores normalizados em  $g$ , para  $\theta=0$  são:  $a_z = \cos(0)=1$  e  $a_y = a_x = \text{seno}(0)=0$ .

Para outros valores de inclinação, os valores de  $a_z$  e  $a_y$  pelo acelerômetro são dados por:

$$a_z = \cos(\theta) \quad (4)$$

$$a_y = \sin(\theta) \quad (5)$$

As equações (4) e (5) são aplicadas ao acelerômetro em equilíbrio estático, fixo ao plano inclinado de um ângulo ( $\theta$ ) em relação à horizontal.

## 3. Medições

Foram obtidas experimentalmente as acelerações  $a_x$ ,  $a_y$  e  $a_z$  para ângulos variando de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  em intervalos de  $5^\circ$ . Foi desenvolvido um programa para receber e transmitir dados de aceleração. O software Excel foi utilizado para organizar os dados e produzir os gráficos.

### 3.1 Softwares para as aquisições de dados

O software para aquisição de dados de aceleração foi desenvolvido a partir de programas exemplo disponíveis na interface Arduino, mostrado na Figura 6.

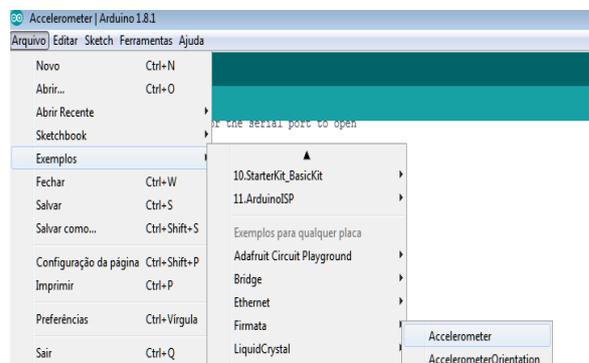


Figura 6. Acesso ao programa exemplo acelerômetro.

A descrição da interface de programação para o Arduino está descrito no site Arduino.cc e em referências como MCROBERTS [7].

O programa ajustado para este trabalho é mostrado na Figura 7 e descrito a seguir.

```

//Inclui a biblioteca para uso do acelerômetro
#include "CurieIMU.h"
void setup() {
// Inicia a comunicação serial
Serial.begin(9600); while (!Serial);
// Inicia o dispositivo
Serial.println("Initializing IMU device...");
CurieIMU.begin();
// Configura o acelerômetro
CurieIMU.setAccelerometerRange(2);
}
void loop() {
float ax, ay, az;
CurieIMU.readAccelerometerScaled(ax, ay, az);
// Envia dados medidos via serial para o computador
Serial.print("a:\t"); Serial.print(ax);
Serial.print("\t"); Serial.print(ay);
Serial.print("\t"); Serial.print(az);
Serial.println(); delay(1000);
}

```

Figura 7. Programa para acelerômetro.

A biblioteca "CurieIMU.h" oferece recursos para inicialização, operação e leitura do acelerômetro que foram realizadas em intervalos de 1 segundo. Funções de comunicação serial enviam dados do Arduino para o computador.

A Figura 8 mostra dados de aceleração transferidos via cabo USB em intervalos de um segundo e mostrados no programa Monitor Serial.

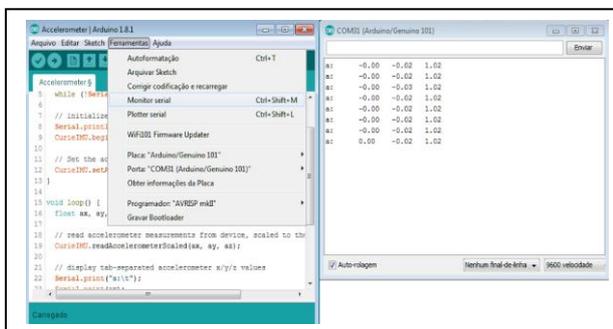


Figura 8. Dados apresentado no Monitor Serial.

Na Figura 8, à esquerda, estão mostrados os recursos para a edição de programas, compilação e transferência de dados para o Arduino.

O programa, gravado de forma permanente no Arduino, pode ser executado se o mesmo for alimentado por uma bateria de nove Volts (9V).

Neste trabalho, o cabo USB que conecta o computador pessoal ao Arduino, tem funções de alimentação da placa, transferência do programa do computador pessoal para o Arduino e transferência de dados produzidos pelo programa no Arduino (dados de aceleração) para o computador pessoal.

Os dados enviados do Arduino pelo cabo USB, ou seja, os valores das acelerações nas direções x, y e z, são recebidos pelo programa Monitor Serial e mostrados na Tabela I.

### 3.2 Medidas extraídas do experimento

As medidas de aceleração no plano inclinado nos eixos x, y e z são mostradas na Tabela I.

Tabela I. Aceleração no plano inclinado

Inclinação (θ)	az	ay	ax	cos(θ)	sin(θ)
0	1,02	-0,10	-0,03	1,000	0,000
5	1,02	-0,07	-0,03	0,996	0,087
10	1,01	0,17	-0,03	0,985	0,174
15	0,99	0,24	-0,03	0,966	0,259
20	0,97	0,33	-0,03	0,940	0,342
25	0,94	0,41	-0,03	0,906	0,423
30	0,90	0,49	-0,04	0,866	0,500
35	0,85	0,57	-0,04	0,819	0,574
40	0,80	0,64	-0,03	0,766	0,643
45	0,74	0,72	-0,03	0,707	0,707
50	0,67	0,76	-0,03	0,643	0,766
55	0,61	0,81	-0,03	0,574	0,819
60	0,54	0,86	-0,02	0,500	0,866
65	0,46	0,90	-0,02	0,423	0,906
70	0,39	0,94	-0,03	0,342	0,940
75	0,30	0,97	-0,03	0,259	0,966
80	0,22	0,99	-0,03	0,174	0,985
85	0,14	1,00	-0,02	0,087	0,996
90	0,01	1,01	-0,05	0,000	1,000

Com relação à Tabela I e conforme observado na Figura 2, a escala do transferidor no experimento varia de 0° a 45°. Neste experimento, para a obtenção de inclinações para ângulos de 45° até 90° foram superpostos dois planos inclinados, cada um com variações de 0° a 45°, mostrados na Figura 9.



Figura 9. Acoplamento entre módulos.

A figura 9 mostra o acoplamento de dois planos inclinados. Ao fundo um computador pessoal se comunica com o Arduino 101 via cabo USB.

### 4. Análise dos dados

Na análise dos dados foram considerados aspectos quanto ao modelo proposto e aplicação prática do material desenvolvido. As equações (4) e (5) foram consideradas como referências para aferir a qualidade das medidas de aceleração em equilíbrio estático. Para isso, os dados experimentais foram comparados aos valores previstos pelas equações (4) e (5), foram tomadas como referência para aferir a qualidade das medidas.

## 4.1 Análises iniciais

Neste modelo, o acelerômetro é um sistema isolado que fornece a aceleração de três sistemas massa mola. Os valores previstos pelas equações (4) e (5) para  $\theta=0$  são:  $a_x=0$ ,  $a_y=0$  e  $a_z=1$ . Os valores apresentados na Tabela I são:  $a_x=-0,03$ ,  $a_y=-0,10$ , e  $a_z=1,02$ .

Para os demais ângulos, os valores de  $a_z$  e  $a_y$  foram comparados, respectivamente, com as funções  $\cos(\theta)$  e  $\sin(\theta)$ , mostrados na Tabela I e na Figura 10.

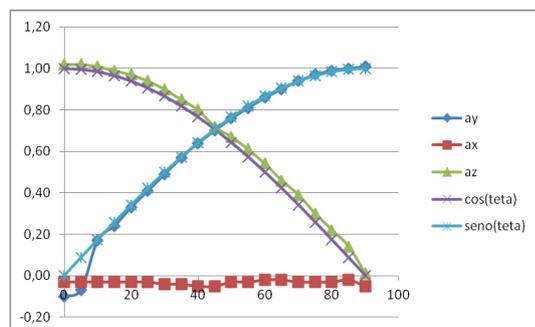


Figura 10. Acelerações  $a_z$ ,  $a_y$  e  $a_x$  no plano inclinado. Comparação com modelo teórico.

Na Figura 10, a componente  $a_z$  mostra diferença ao valor previsto pela função  $\cos(\theta)$  na equação (4) e essas diferenças não são constantes. O maior valor (0,048) ocorreu para a inclinação de  $70^\circ$ .

A Figura 10 mostra que  $a_y$  segue aproximadamente a função  $\sin(\theta)$ , equação (5), para ângulos a partir de  $10^\circ$ . A maior diferença (-0,157) entre a aceleração  $a_y$  e a função  $\sin(\theta)$  ocorre para  $\theta=5^\circ$ .

A aceleração prevista na direção do eixo x é  $a_x=0$ , porém a figura 12 mostra uma pequena oscilação em torno do valor  $a_x=-0,03$ , também observado na Tabela I. Esta diferença pode ser atribuída às características físicas do acelerômetro e à fixação na placa.

As diferenças quanto aos valores de aceleração para inclinações em torno de  $0^\circ$  talvez possam ser atribuída à tecnologia da construção do acelerômetro (MEMS). Considerando (Figura 4) que o dispositivo faz uso de membranas de dimensões micrométricas, nada se pode afirmar quanto à linearidade da equação (1).

## 4.2 Análises para o modelo de aceleração

As equações (4) e (5) mostram a dependência de  $a_z$  e  $a_y$ , normalizados para  $g=1$ . Essa normalização obriga que os valores de  $a_z$  e  $a_y$  estejam restritos à faixa -1 a +1, devido à dependência senoidal. Estes limites não são observados na Tabela 1.

Propõe-se que modelo estático possa ser aplicado desde que os valores da Tabela 1 sejam normalizados para o intervalo -1 e +1. Neste caso, devem ser testadas outras formas de normalização das equações (2) e (3), ou outras escalas para os valores de aceleração na Tabela I. O teste ao modelo poderia ser feito com outros experimentos e recursos teóricos [8].

## 4. Conclusões

Este trabalho apresenta metodologia para análise de dados de aceleração obtidos pelo Arduino 101 como um objeto em equilíbrio estático em um plano inclinado.

O modelo representado pelas equações (4) e (5) parece caracterizar dados de aceleração fornecidos pelo Arduino 101 com as seguintes observações:

Considerando a precisão dos dados fornecidos pelo acelerômetro com duas casas decimais e escalas do transferidor graduadas em  $1^\circ$ , acredita-se que maior precisão na medida de inclinação não trará maiores informações ao método usado.

Não foi analisado o comportamento do acelerômetro para rotações completas em torno de cada eixo e se haveria simetria nessas medidas, equações (4) e (5).

Ampliar recursos do dispositivo para fornecer dados em tempo real e via comunicação sem cabo.

Os testes desenvolvidos podem orientar aplicações em como: medidas de inclinação; caracterizar corpos em movimento limitado; telemetria; agronegócio; etc.

## Agradecimentos

Ao professor João Mongelli Netto e ao auxiliar docente Domênico Paulo Bruno Cainelli (Laboratório de Física - Fatec-SP) e aos auxiliares docentes Julio Francisco Rodrigues de Souza e Milene Rodrigues da Conceição (DTI-Fatec-SP).

## Referências Bibliográficas

- [1] **Arduino Board 101**. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoard101>. Acesso em 30/05/2017.
- [2] **Arduino - Home**. Disponível em: <https://www.arduino.cc>. Acesso em 30/05/2017.
- [3] **Acelerômetro ADXL 150**. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/edu/Sensores/1999/joao/funcionamento.htm>. Acesso em 30/05/2017.
- [4] Getting Started with IMU (6DOF) motion-sensor - Arduino Project Hub. Disponível em: <https://create.arduino.cc/projecthub/Aritro/getting-started-with-imu-6-dof-motion-sensor-96e066>. Acesso em 30/04/2017.
- [5] TELLES, D & MONGELLI, J. **Física com Aplicação Tecnológica. Vol. 1 - Mecânica**. 1ª. Ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2011. 312 pp.
- [6] M. A. SANTOS ET al. **Estudos do Comportamento do Acelerômetro no Plano Inclinado**. In: 15º Simpósio de Iniciação Científica e Tecnológica, 2015, São Paulo. Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo. São Paulo: Fatec-SP, 2015. v. 38. p. 12.
- [7] MCROBERTS, M. **Arduino Básico** São Paulo: NOVATEC. 2011, 453 pp.
- [8] **NOP - physical computing and tangible media**. Disponível em: <https://noperation.wordpress.com/2015/06/16/acelerometro-implementacao-de-um-sensor-de-orientacao-no-arduino-e-no-processing/> Acesso em 20/04/2017.

# TECNOLOGIA ASSISTIVA

## PRÓTESES E EQUIPAMENTOS DE MOBILIDADE

Carlos Rezende de Menezes  
Prof. Dr. do Departamento de Mecânica da FATEC-SP  
[crmenezes@fatecsp.br](mailto:crmenezes@fatecsp.br);

### Resumo

O artigo apresenta conceitos da Tecnologia Assistiva (TA) e mostra dois dos projetos relacionados a área de TA, em desenvolvimento no Laboratório de Projetos Especiais (LPE). São demonstradas as aplicações, a metodologia empregada e os resultados obtidos até o presente momento, em Próteses Mecânicas para Amputados Transtibiais e Cadeira de Rodas com Encosto e Apoio para os Pés Reclináveis.

### 1. Introdução

O termo Tecnologia Assistiva (TA), originalmente *Assistive Technology*, foi usado pela primeira vez em 1988 na legislação norte americana, conhecida como *Public Law 100-407*, que regulamentava os direitos de pessoas com deficiência nos EUA. [1]

Em 16 de novembro de 2006 foi instituído o Comitê de Ajudas Técnicas (CAT), (Decreto nº 5.296/2004) no âmbito da Secretaria Especial dos Direitos Humanos da Presidência da República. Desde então convencionou-se utilizar no Brasil o termo Tecnologia Assistiva. [2]

De acordo com o CAT:

“Tecnologia Assistiva é a área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social”.

### 1.2 Classificação

A TA é subdividida em 11 itens: [3]

- 1 - Auxílio à vida diária - Materiais e produtos para facilitar tarefas rotineiras diárias;
- 2 - Comunicação aumentativa - Recursos, eletrônicos ou não, que auxiliem pessoas sem a fala ou com limitações da mesma;
- 3 - Recursos de acessibilidade ao computador - Equipamentos que permitem pessoas com deficiência usarem o computador;
- 4 - Sistemas de controle de ambiente - Sistemas eletrônicos que permitem pessoas com limitações motolocomotoras controlar remotamente aparelhos;

- 5 - Projetos arquitetônicos para acessibilidade - Adaptações estruturais em casas e/ou ambiente de trabalho;
- 6 - Órteses e próteses - Troca ou ajuste de partes do corpo, faltantes ou de funcionamento comprometido, por membros artificiais;
- 7 - Adequação Postural - Adaptações para cadeira de rodas ou outro sistema de sentar;
- 8 - Auxílios de mobilidade - Cadeiras de rodas manuais e motorizadas, que melhorem a mobilidade pessoal;
- 9 - Auxílios para cegos ou com visão subnormal - Equipamentos auxiliares para este grupo específico;
- 10 - Auxílios para surdos ou com déficit auditivo - Equipamentos auxiliares para pessoas com déficit auditivo;
- 11 - Adaptações em veículos - Acessórios e adaptações para veículos;

### 1.3 Situação Brasileira

No Brasil, conforme mostrado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no censo de 2000, da população de 169.799.170 habitantes, haviam 24,5 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência correspondendo a 14,5% da população, sendo que desses, 48,0% apresentavam deficiência visual; 22,9% deficiência motora; 16,7% deficiência auditiva; 8,3% deficiência intelectual e 4,1% deficiência física.

No censo de 2010, a população era da ordem de 195 milhões de habitantes, o percentual de pessoas que apresentavam pelo menos um tipo de restrição de capacidade visual, auditiva ou motora: 7,5% para idades de 0 a 14 anos, 24,9% para idades entre 15 a 64 anos e 67,7% para idade superior a 65 anos. [4]

Segundo a Empresa Brasileira de Comunicação (EBC), 6,2% da população apresenta algum tipo de deficiência. [5]

Estes dados mostram a necessidade de prover esta população com condições adequadas para terem acesso aos seus direitos de cidadania.

### 2. Projetos em desenvolvimento

Dos tópicos relacionados na classificação, atualmente são desenvolvidos no LPE:

- Órteses e Próteses – Prótese Perna (item 6);
- Adequação Postural – Cadeira de Rodas com Encosto e Apoio para os Pés Reclináveis (item 7).

## 2.1 Metodologia utilizada nos projetos

O desenvolvimento dos projetos segue basicamente a seguinte metodologia:

- Levantamento de situações problemas com pessoas que apresentem necessidades especiais. O questionamento é feito diretamente com o paciente ou com profissionais da área de saúde;
- Feito o levantamento é avaliada a possibilidade de desenvolver o projeto, que deve estar em consonância com os cursos oferecidos pela FATEC-SP;
- Caso haja disponibilidade material, é feito um estudo preliminar por meio de programas de engenharia;
- Em seguida um modelo é desenvolvido;
- O desenvolvimento gera um ou vários protótipos que são submetidos a testes de laboratório;
- Os resultados são reportados em publicações técnicas.

## 3. Projeto:

### Prótese para Amputados Transtibiais

Na década de 70 foi desenvolvida a primeira prótese em formato de lâminas, com atuação puramente mecânica. Hoje em dia são manufaturadas principalmente em fibra de carbono.

Ao se movimentar, o portador contrai a prótese que, por sua vez, armazena energia mecânica que é liberada quando a lâmina retorna ao formato original, gerando impulso.

Os formatos em “J” ou “C” depende do tipo de utilização, se para uso cotidiano ou esportivo. Figuras 1 e 2.

No LPE foram desenvolvidas duas próteses, uma com formato “C” e outra “J”. A primeira, em formato “C”, foi produzida com uma mistura de fibra de vidro e carbono. A de formato “J”, foi produzida apenas com fibra de carbono.

### 3.1 Pré-avaliação

Antes da construção do primeiro modelo físico, foram realizados estudos utilizando-se programa de Elementos Finitos (EF) como mostrado na figura 03.

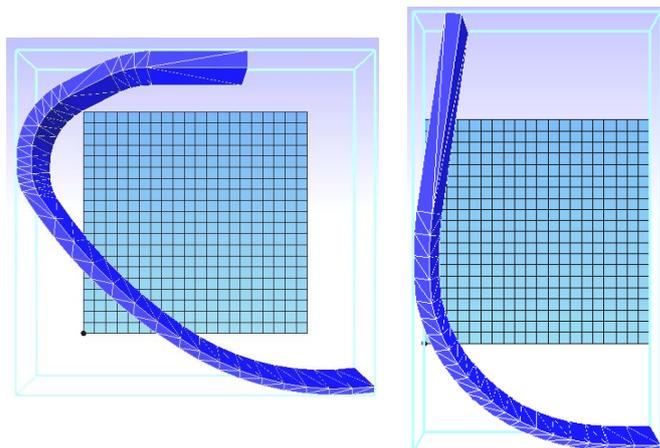


Figura 01 - Prótese “C” (estudo)

Figura 02 - Prótese “J” (estudo)

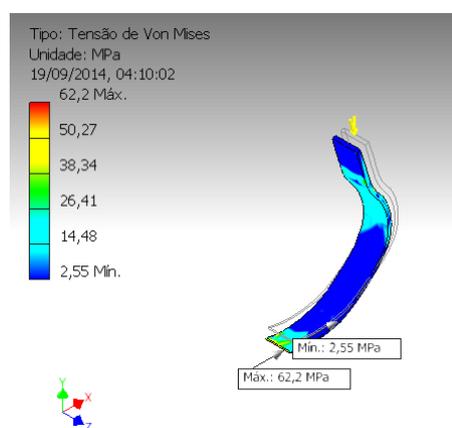


Figura 03 – Modelo computacional.

A figura 04 mostra um modelo “J” construído em fibra de vidro e suas dimensões básicas

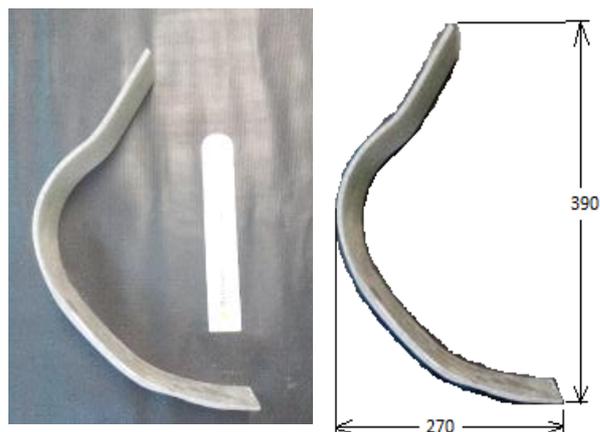


Figura 04 – Modelo da prótese “J” – dimensões básicas

### 3.2 Moldes

O primeiro molde foi construído para obter-se uma peça com largura de 160 mm. As principais dimensões do modelo são: 390x270x80 mm. Como a largura da prótese é de 80 mm, pode-se obter duas peças ao mesmo tempo. Figura 05. No caso de ser utilizada em uma pessoa biamputada, não haverá diferença entre elas.



Figura 05 – Molde duplo

O molde bipartido contém uma serpentina de cobre para circulação de óleo quente, importante no processo da laminação das peças em fibra de carbono. Foi inserida também, uma placa de espuma de poliuretano para manter a temperatura interna.

As peças, com formato J, foram laminadas utilizando-se duas mantas diferentes. Fibra de carbono na superfície externa, e fibra de vidro, unidirecional, na parte interna. Figura 06.



Figura 06 – Prótese “J” – composição de fibra de vidro e carbono

As lâminas foram cortadas com espessura de 80 mm., conforme mostrado na figura 07.



Figura 07 – Prótese formato “J” com dimensões finais

Peças, com formato “C” mostradas na figura 08, foram confeccionadas somente em fibra de carbono.



Figura 08 – Formato “C” em fibra de carbono

### 3.3 Testes

No teste de compressão, até a ruptura, no corpo de prova em “J”, produzido com fibra de vidro e fibra de carbono, figura 09 (esquerda), foi aplicada carga até que houvesse ruptura das fibras. O valor registrado foi de 874,8 N que provocou uma deformação de 108,9 mm.

No teste do corpo com formato “C”, produzido em fibra de carbono, figura 09 (direita), não houve ruptura, mas evidenciou-se alta rigidez da prótese, devido à combinação de resina epóxi com o endurecedor utilizado.

A figura 10 mostra os corpos de prova após o ensaio.



Figura 09 – Testes de compressão das peças



Figura 10 – Corpos de prova após ensaio

### 3.4. Conclusões

Os testes evidenciaram que independente do formato da prótese a combinação de fibra de vidro e carbono da forma como foram construídos (em camadas), não se mostrou viável. Novos testes serão realizados com peças em formato “C” e “J” construídas em fibra de carbono e tecidos híbridos de vidro e carbono.

### 4. Projeto:

#### ***Cadeira de Rodas com Encosto e Apoio para os Pés Reclináveis***

Pessoas com dificuldade de locomoção, devido a acidentes ou paraplegia, necessitam mudar de posição na cadeira para que se sintam mais confortáveis. Entre os tipos de cadeiras de rodas encontrados no mercado nacional, algumas permitem movimentações diversas, mas não constatamos a existência de uma em que o cadeirante incline ou movimente o encosto e o apoio das pernas ao mesmo tempo, de forma que fique acomodado horizontalmente. Segundo informações obtidas com usuários de cadeiras de rodas, a possibilidade de “linearizar” encosto, assento e apoio de pernas, permitiria mais conforto sem a necessidade de deslocar o paciente para uma cama. Figura 11.

Observe-se que o deslocamento do paciente de uma cadeira para uma cama é, em geral, uma atividade penosa para familiares e enfermeiros que não contam com equipamentos auxiliares, tais como transfers hospitalares.



Figura 11 – Desenho de estudo da Cadeira de Rodas Reclinável

### 4.1 Desenvolvimento

No projeto foi adaptado a uma cadeira de rodas comum, um mecanismo que possibilita ao cadeirante reclinar o encosto e o apoio das pernas, de forma a “linearizar” estas superfícies, transformando, praticamente, a cadeira em uma cama sem a necessidade de interferência de outras pessoas.

Foi utilizado o encosto de um banco reclinável, com estrutura de alumínio devido ao peso e um mecanismo pantográfico.

As dimensões da cadeira foram mantidas conforme os padrões da Norma Brasileira NBR 9050 – 2015.

### 4.2 Resultados

Abaixo, fotos dos protótipos desenvolvidos até o presente momento.



Figura 12 – Protótipo da Cadeira de Rodas Reclinável

### 4.3 Conclusões

O protótipo está em fase de desenvolvimento, como mostrado na figura 12, necessitando de pequenos ajustes. Mas, pôde-se constatar que o mecanismo utilizado atende ao objetivo proposto no projeto, que é a linearização simultânea do apoio de pernas e encosto, além do baixo custo.

## ***5. Discussão***

No projeto da Prótese para Amputados Transtibiais, os modelos testados, com formato “C” e “J”, apresentaram bons resultados quanto a resistência embora a forma construtiva, com o interior em fibra de vidro e fibra de carbono no revestimento externo, não tenha apresentado bons resultados. Um novo modelo totalmente em fibra de carbono está em fase de testes e, além da resistência mecânica, a flexibilidade deverá ser melhorada com a adoção de uma nova composição fibra/resina.

Quanto a Cadeira de Rodas com Encosto e Apoio para os Pés Reclináveis, as soluções propostas apresentaram resultados compatíveis com os objetivos do projeto. Para eventual reprodução do projeto para uso de cadeirante, alguns detalhes estéticos poderão ser incorporados.

## ***Agradecimentos***

As pesquisas contaram com a colaboração dos seguintes estudantes:

Vinicius Lourenço dos Santos

João Pedro Vasconcelos Moura

Agradecemos a empresa Helipark Taxi Aéreo e Manutenção Aeronáutica e à Lord Corporation pelo apoio material.

## ***Referências Bibliográficas***

- [1] T.A. Galvão Filho, A Tecnologia Assistiva: de que se trata? 1ª. ed. Porto Alegre: Redes Editora, p. 207-235, 2009. (disponível no formato PDF em [www.galvaofilho.net/assistiva.pdf](http://www.galvaofilho.net/assistiva.pdf))
- [2] Brasil. Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. B823 t Comitê de Ajudas Técnicas Tecnologia Assistiva. – Brasília: CORDE, 2009. 138 p.
- [3] BERSCH, R. C. R. - Design de um serviço de tecnologia assistiva em escolas públicas – Dissertação de Mestrado – 2009 – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – 231 p
- [4] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE - ISSN 1676-4935 - 2012 Censo demogr., Rio de Janeiro, p.1-215, 2010
- [5] Empresa Brasileira de Comunicação - EBC - atualizado em 21/08/15 - Por Flávia Villela; Edição: Denise Griesinger - Fonte: Agência Brasil.

# UM ESTUDO SOBRE COMBINAÇÕES LEXICAIS ENVOLVENDO INSTALAÇÕES NA ÁREA DE HOTELARIA

José Roberto Lourenço<sup>1</sup>

Prof. Dr.do Depto de Automação de Escritórios e Secretariado curso AES- FATEC-SP

[Jr\\_lourenco@yahoo.com.br](mailto:Jr_lourenco@yahoo.com.br)

## Resumo

O trabalho teve por objetivo fazer levantamento e estudo de vocabulário em língua inglesa na área de hotelaria envolvendo especificamente *facilities* em hotéis 4 e 5 estrelas. Os achados da pesquisa visam contribuir com a ampliação de conhecimentos de professores e alunos da Faculdade de Tecnologia de São Paulo envolvidos com o curso de Gestão de Turismo, bem como das pessoas Interessadas na área em geral. Para realização da pesquisa, inicialmente coletamos textos relacionados à hotelaria presentes na rede, em *website* de hotéis, em seguida, utilizamos a ferramenta eletrônica AntConc 3.2.4w para seleção e estudo de combinações lexicais. Destacamos palavras-chave semântica e estatisticamente expressivas no corpus. Os resultados apresentaram algumas combinações lexicais conhecidas na área como *Italian restaurant*; outras, inusitadas, ausentes dos materiais didáticos de turismo utilizados na instituição, como *rooftop restaurant* por exemplo.

Palavras-chave: hotelaria; língua inglesa; vocabulário especializado; ferramentas eletrônicas; AntConc 3.2.4w.

## 1. Introdução

A atividade turística desempenha no mundo de hoje um papel bastante relevante tanto no tocante à economia quanto no tocante à cultura dos países. Apesar da crise mundial e recessão, várias nações têm investido na área; veem a atividade como uma fonte importante de geração de recursos, como uma alavanca auxiliar de desenvolvimento. Prova disso é a preocupação atual de diversos países em estimular o crescimento da área.

Por exemplo, os *WorldTravelAwards*, prêmios que vêm sendo atribuídos desde 1993 pelo órgão estatal português de fomento ao turismo (Turismo de Portugal) em reconhecimento ao trabalho desenvolvido na área da indústria turística, estimulam a competitividade e a qualidade na área. A seleção dos países que se destacam é feita por profissionais do setor em nível mundial. Percebemos lá uma preocupação em nível continental das autoridades em estimular e contemplar a qualidade dos serviços oferecidos. No Brasil temos o BNDES como órgão de fomento. E apesar de seu envolvimento em eventos importantes como a copa do mundo de futebol em 2014 e os jogos olímpicos em 2016, muito ainda há por se fazer, [1].

Segundo os autores,

*“O Setor de Turismo no Brasil tem como foco principal o segmento hoteleiro, em particular os fluxos de turistas. Como são esses que demandamos serviços de hotelaria, prospectar tais fluxos é um pré-requisito para a avaliação das demandas sobre o segmento hoteleiro.”*

Ainda segundo eles,

*“No contexto internacional, o Brasil disputa mercado com as demais regiões e os demais países que oferecem, cada qual, suas distintas atrações turísticas. Assim, para balizar as reais possibilidades de crescimento do setor no país, buscou-se também posicioná-lo no contexto mundial e cotjá-lo com outros destinos, em particular aqueles que mais atraem turistas no mundo.”*

Vemos que o Brasil bem como países importantes no mundo vem estimulando a atividade de turismo de diversas formas, com foco no fator humano, o próprio turista. Percebemos que a integração do país no cenário mundial da indústria do turismo envolve os setores público e privado em atuação conjunta, acreditamos, porém, que as áreas ligadas ao ensino e à pesquisa podem desempenhar um papel também importante; auxiliar na instrumentalização do material humano necessário para atuação dentro da área em questão, o ramo hoteleiro, na medida em que passar a envolver as instituições. Dentro desse quadro, a pesquisa e a ampliação do conhecimento de léxico poderão auxiliar no desenvolvimento da área em especial professores e estudantes da área; acreditamos que esse processo possa se realizar com conhecimentos mais abrangentes da língua franca do momento, o inglês, [2].

Nos últimos anos, pesquisadores em língua inglesa veem na linguística de corpus um campo vasto de possibilidades de levantamento e aplicação de informações relacionadas ao uso de vocabulário especializado. Nossa opção pela linguística de corpus e pelo uso de suas ferramentas ocorre pela importância que dá à linguagem autêntica, um destaque em nossa pesquisa.

## 2.A *linguística de corpus*

Segundo Berber Sardinha,

“A linguística de *corpus* ocupa-se da coleta e da exploração de *corpora*, ou conjuntos de dados linguísticos textuais coletados criteriosamente, com o propósito de servirem para a pesquisa de uma língua ou variedade linguística. Como tal, dedica-se à exploração da linguagem por meio de evidências empíricas, extraídas por computador.”, [3].

Ainda segundo o autor, “outro elemento central da conceituação em que a Linguística de *Corpus* se baseia é a visão probabilística da linguagem [...] a visão da linguagem como sistema probabilístico pressupõe que, embora muitos traços linguísticos sejam possíveis teoricamente, não ocorrem com a mesma frequência.”.

### 2.1. *Palavras-chave e Corpora*

As palavras-chave possibilitam acesso a palavras importantes nos textos, importantes por apresentarem frequência estatística diferente no *corpus* de estudo e no *corpus* de referência. O *corpus* de referência é um *corpus* geral, maior, que funciona como termo de comparação para análise; fornece uma norma com a qual se faz a comparação das frequências no *corpus* de estudo. [4].

A pesquisa poderá contribuir com a ampliação de conhecimentos de pesquisadores em linguística atuando na área de turismo e hotelaria no tocante às particularidades léxico gramaticais presentes na língua inglesa, tornando estes um elo entre as instituições de pesquisa e ensino e o ambiente corporativo hoteleiro.

Berber Sardinha destaca algumas definições de *corpus* (palavra de origem latina que tem como forma plural *corpora*). Entre elas temos: “Uma coletânea de textos naturais, escolhidos para caracterizar um estado ou variedade de linguagem”, [5], e “É um corpo de linguagem natural, autêntica que pode ser usado como base para pesquisa linguística”, [6]. Temos uma terceira definição: “É uma coletânea de porções de linguagem que são selecionadas e organizadas de acordo com critérios linguísticos explícitos, a fim de serem usadas como uma amostra de linguagem.”, [7].

A mais completa definição, porém, justamente por incorporar as características principais mencionadas nas definições acima, é: “Um conjunto de dados linguísticos (pertencentes ao uso oral ou escrito da língua, ou a ambos), sistematizados segundo determinados critérios, suficientemente extensos em amplitude e profundidade, de maneira que sejam representativos da totalidade do uso linguístico ou de algum de seus âmbitos, dispostos de tal modo que possam ser processados por computador, com a finalidade de propiciar resultados vários e úteis para a descrição e análise.”, [8].

Iniciamos esse artigo explicitando os objetivos do trabalho, a seguir a coleta e seleção de textos base para a pesquisa, em seguida a metodologia para o

desenvolvimento do trabalho e a discussão dos dados; finalmente, as conclusões.

## 3. *Objetivos*

O objetivo deste trabalho é utilizar um banco de dados com textos da área de hotelaria para estudo de léxico relacionado a instalações oferecidas por hotéis internacionais presentes em diferentes regiões do mundo. Com base no *corpus*, extrair palavras-chave (substantivos) e levantar combinações lexicais, os adjetivos a eles relacionados, com as respectivas definições. Finalmente, disponibilizar a amostra para professores e alunos da FATEC-SP interessados na pesquisa, bem como promover seminários para divulgação das possibilidades de uso do aplicativo AntConc como ferramenta de coleta e análise de léxico.

## 4. *Seleção de textos*

Optamos pela rede para efetuarmos a coleta do material necessário para a pesquisa pela abrangência e a facilidade de acesso às informações. Selecionamos 160 textos de um *site* presente na rede que veiculava informações sobre hotéis 4 e 5 estrelas em diferentes partes do mundo e pesquisamos significados de vocabulário em dicionários eletrônicos.<sup>1</sup> A coleta abrangeu 8 áreas distintas, ou seja, Oceania, Ásia, África/Oriente Médio, Europa Oriental, Europa Ocidental, América do Norte, América Central e América do Sul. Cada área contou com 20 textos relacionados aos continentes citados com destaque para países regularmente visitados.

## 5. *Metodologia*

Selecionamos textos previamente salvos em txt, (texto sem formatação) forma que permite estudo linguístico adequado. Em seguida, com utilização da ferramenta eletrônica de análise linguística, o *AntConc* 3.2.4w. [9], fizemos levantamento e estudo do léxico neles presente. Utilizamos palavras-chave do *corpus* considerando os substantivos relacionados à estrutura ou instalações oferecidas pelos hotéis. O *corpus* de estudo contou com 160 textos e 24.046 palavras, o *corpus* de referência é o BNC, o *British National Corpus-World* com 110.691.482 palavras. Para a definição do *corpus*, adotamos a abordagem impressionística, que considera um *corpus* de estudo contendo entre 20 mil e 200 mil palavras, um *corpus* pequeno, porém representativo para o fim a que se propõe, [10].

<sup>1</sup>[www.fivestaralliance.com](http://www.fivestaralliance.com); [www.collinsdictionary.com](http://www.collinsdictionary.com); [www.dictionary.reverso.com/English/](http://www.dictionary.reverso.com/English/); <https://standards.phorio.com>; <https://thebalance.com>

### 5.1.A ferramenta eletrônica AntConc 3.2.4w, seus recursos de coleta e análise e o BNC (British National Corpus), o corpus de referência.

O AntConc 3.2.4w é um aplicativo disponibilizado na rede e utilizado para pesquisa de léxico na área de linguística de corpus. O aplicativo contém diferentes ferramentas que podem ser acessadas de acordo com a necessidade e objetivo da pesquisa. Para nosso levantamento e análise de vocabulário fizemos uso de três delas. Lista de palavras-chave, Linhas de Concordâncias e Combinações lexicais (*collocates*).

- Lista de palavras-chave – esta ferramenta mostra quais palavras são mais frequentes num corpus pequeno, em comparação a um *corpus* geral, chamado *corpus* de referência (BNC). Isso permite identificarmos palavras características ou de relevância semântica no corpus de estudo, em nosso caso nos textos de hotelaria estudados.
- Combinações lexicais (*collocates*) – esta ferramenta mostra as combinações lexicais de uma palavra-chave selecionada para estudo.
- Linhas de concordância – esta ferramenta mostra os resultados de busca das combinações lexicais levantadas na fase anterior - *collocates*. Permite uma visão mais abrangente de como as combinações lexicais se apresentam no corpo de um texto.
- Lista de palavras - esta ferramenta é utilizada para procedimentos gerais com o aplicativo; conta todas as palavras no *corpus* e as apresenta em uma lista ordenada. Isso permite que encontremos quais palavras são as mais frequentes no corpus e consequentemente as mais pertinentes para estudo.

O *British National Corpus* é um conjunto de textos que conta com mais de cem milhões de palavras em língua inglesa na forma escrita e falada formado a partir de diversas fontes. O corpus abrange inglês britânico do final do século 20 e início do século 21 e inclui grande variedade de gêneros representando uma amostra importante do inglês escrito e falado dessa época, apresenta textos jornalísticos, acadêmicos e de ficção entre outros. Foi originalmente criado por grupos de pesquisadores da Universidade de Oxford nos anos de 1980s e 1990s.<sup>2</sup>

## 6. Resultados e discussão

Apresentamos na sequência uma palavra-chave de alta frequência presente no *corpus* total e seis combinações lexicais. A palavra selecionada está relacionada à estrutura hoteleira (*facilities*). Os achados da pesquisa são apresentados e discutidos juntamente com a tabela

<sup>2</sup> [www.corpus.byu.edu/bnc](http://www.corpus.byu.edu/bnc); [wikipedia.org/wiki/ethernet](http://wikipedia.org/wiki/ethernet);

1. Destacamos aqui marcas estatísticas e o sentido das combinações lexicais nos diferentes contextos em que são utilizadas.

### Palavras-chave do *corpus* total e combinações lexicais

A partir das listas do *corpus*, destacamos uma palavra para estudo e combinações como mencionado acima; é a palavra *restaurant* relacionada à estrutura hoteleira

Tabela I - Palavra-chave e combinações lexicais

Restaurant	Nº de combinações com a palavra-chave
Italian	5
Fine-dining	4
Gourmet	2
Breakfast	2
Five-star	1
Rooftop	1

Na Tabela I temos em destaque,

- *Italian* que aparece formando a combinação *Italian restaurant*, um destaque internacional, um restaurante italiano, uma cantina.
- *Fine-dining* vem a seguir colocada com restaurante formando a combinação *fine-dining restaurant*; indica um restaurante que oferece jantares refinados a preços normalmente muito elevados, acima da média do mercado.
- *Gourmet* forma a combinação *gourmet restaurant*; a combinação faz menção a um restaurante refinado e sofisticado, superior em termos de qualidade dos produtos e elaboração dos pratos.
- *Breakfast* forma a combinação *breakfast restaurant*. Esta se refere a um restaurante bastante específico que oferece grande variedade de produtos típicos de cafés da manhã. Normalmente permanece aberto até mais tarde que o horário normal de funcionamento; muitas vezes inclui no cardápio almoço e jantar.
- *Five-star* forma a combinação *five-star restaurant* sugerindo a presença de um restaurante com qualificação máxima em cozinha e serviço, chamado também *top star-rating*.
- *Rooftop* forma a combinação *rooftop restaurant*. É uma referência simples de localização do restaurante. Um espaço para refeições localizado na área externa do piso mais elevado do hotel.

## 7. Conclusão

O uso da ferramenta eletrônica *AntConc* de análise linguística possibilitou um estudo abrangente de significados, envolvendo combinações lexicais, um substantivo, chamado nódulo e um adjetivo. Nesta breve sequência estudada, observamos uma variedade de sentidos envolvendo *restaurant*. Interessante notar que os exemplos fazem referência qualitativa como *fine-dining* e *gourmet*, bem como referência física (a espaços físicos) como *rooftop*. O papel do software nesse processo deve ser aqui destacado, mas não podemos esquecer o papel da rede, dos dicionários eletrônicos e do site de hotelaria consultados; foram eles que permitiram acesso às informações necessárias para melhor definição das diferentes combinações, um dos objetivos de nossa pesquisa. O trabalho representa uma pequena amostra das possibilidades de levantamento e estudo que a Linguística de Corpus e suas ferramentas podem oferecer aos estudiosos e pesquisadores da área de línguas.

## Agradecimentos

À Faculdade de Tecnologia de São Paulo pelo aceite de proposta de entrada em regime de jornada integral, o que permitiu o desenvolvimento do trabalho e pelo acesso aos equipamentos pertencentes ao Departamento de Automação de Escritórios e Secretariado.

## Referências Bibliográficas

- [1] G. Mello & M. Goldeinstein .**Perspectivas da Hotelaria no Brasil. Turismo**. BNDES Setorial 33. P. 5-42. 2011.
- [2] D. Crystal. **English as a global language**. Cambridge. Cambridge University Press. 2003.
- [3] T. Berber Sardinha..**Linguística de Corpus**. Barueri: Manole, 2004:3.
- [4] T. Berber Sardinha..**Linguística de Corpus**. Barueri: Manole, 2004: 96-97.
- [5] T. Berber Sardinha..**Linguística de Corpus**. Barueri: Manole, 2004.
- [6] Sinclair apud Berber Sardinha. **Linguística de Corpus**. Manole. 2004.
- [7] Percy, Meyer&Lancashire, 1996, apud T. Berber Sardinha. **Linguística de Corpus**. Manole.2004.
- [8] Sanchez 1995 apud T. Berber Sardinha. **Linguística de Corpus**. Manole. 2004.
- [9] Laurence Anthony, Ph.D. **AntConc 3.2.4w (Windows, Macintosh OS X, and Linux)**. Center for English Language Education in Science and Engineering, School of Science and Engineering,

Waseda University, 3-4-1; Okubo, Shinjuku-ku, Tokyo 169-8555, Japan.2011.

[10] Aston (1997) apud T. Berber Sardinha.

**Linguística de Corpus**. Manole. 2004.

[11] Five Star Alliance. Disponível em:

[www.fivestaralliance.com](http://www.fivestaralliance.com). Acesso em 05 de junho de 2015.

[12] Free Online Dictionary. Disponível em:

[www.collinsdictionary.com](http://www.collinsdictionary.com). Acesso em 16 de novembro de 2016.

[13] Reverso Dictionary. Disponível em:

[www.dictionary.reverso.com/english](http://www.dictionary.reverso.com/english). Acesso em: 16 de novembro de 2016.

[14] Phorio Standards. Disponível em:

<https://standards.phorio.com>; Acesso em 16 de novembro de 2016.

[15] The Balance. Disponível

em: <https://thebalance.com>. Acesso em: 16 de novembro de 2016.

[16] Corpus Byu Edu. Disponível

em: <<http://www.corpus.byu.edu/bnc>> . Acesso em 10 de julho de 2015.

[17] Wikipedia, a Encyclopedia Livre. Disponível em:

[wikipedia.org/wiki/ethernet](http://wikipedia.org/wiki/ethernet). Acesso em: 10 de julho de 2015.

# VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM CAMADAS DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Josué Alves Roso<sup>1</sup>, Deise Dias do Nascimento Machado<sup>2</sup>,  
Rafael Henrique Freire de Godoy<sup>3</sup>, Thiago Lopes da Rocha<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Prof. Mestre da Faculdade de Tecnologia de São Paulo

<sup>2</sup> Prof.<sup>a</sup> da Faculdade de Tecnologia de São Paulo

<sup>3</sup> Auxiliar Docente do curso de Movimento de Terra e Pavimentação FATEC – SP

<sup>4</sup> Graduado do curso de Movimento de Terra e Pavimentação FATEC – SP

[jaroso@fatecsp.br](mailto:jaroso@fatecsp.br), [deisedias@fatecsp.br](mailto:deisedias@fatecsp.br), [godoy.rafael@fatecsp.br](mailto:godoy.rafael@fatecsp.br), [tgo-@msn.com](mailto:tgo-@msn.com)

## Resumo

Este trabalho analisa o comportamento mecânico dos materiais agregados reciclados de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e o *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) espumado quando empregados como camada de base de um pavimento flexível. Três estruturas de pavimentos hipotéticos foram dimensionadas conforme o método do DER/SP. As estruturas mantiveram as mesmas espessuras, variando apenas os materiais empregados na camada de base e consequentemente seus módulos de resiliência. Estas estruturas foram analisadas conforme o método mecanicista por meio da Teoria dos Sistemas de Camadas Elásticas com o auxílio do programa computacional ELSYM-5. Concluiu-se que os materiais reciclados apresentam resultados favoráveis quando comparados aos materiais convencionais, uma vez que as tensões atuantes nos pontos de superfície do revestimento, fibra inferior do revestimento e topo do subleito apresentaram valores inferiores aos materiais convencionais. Com base nos resultados da análise mecanicista, verificou-se que há possibilidade técnica para redução das espessuras das camadas de RCD e RAP. Finalmente, pode-se verificar pelo universo amostral utilizado que, os pavimentos com materiais reciclados apresentaram comportamento superiores aos materiais convencionais, podendo assim, inferir que podem ser utilizados nas camadas de um pavimento flexível substituindo os materiais convencionais para composição da estrutura.

## 1. Introdução

O pavimento pode ser definido com uma estrutura não perene, composta por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados a partir do subleito do corpo estradal. Essa estrutura deve ser adequada para atender estrutural e operacionalmente ao tráfego, de maneira durável e ao mínimo custo possível, considerados diferentes horizontes para serviços de manutenção preventiva, corretiva e de reabilitação. [1].

O destino dos materiais reciclados de construção civil com a finalidade de utilização em camadas de pavimentos tem sido uma das alternativas mais bem avaliadas, não só pela boa qualidade desse tipo de material e sua facilidade de aplicação, como também pelas vantagens ambientais alcançadas. [12]

A utilização desses materiais ainda é uma atividade relativamente nova no Brasil, diferente de outros países

que já tem utilizado esse tipo de material e estabelecido leis que privilegiam quem o utiliza [13].

Os resíduos de construção e demolição (RCD) são gerados em quantidades expressivas nas cidades de grande e médio porte no Brasil e são comumente descartados de forma irregular. Com o crescimento e o desenvolvimento das cidades, a indústria da construção civil depara-se com uma questão importante: a geração de resíduos sólidos pelas obras novas e demolições [13].

No Brasil, foi aprovada no ano de 2002 a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente n° 307 (CONAMA) que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. [2]

## 2. Objetivo

Estudar a viabilidade da utilização de materiais do tipo RCD e RAP em estruturas de pavimento. A análise consistirá em um comparativo de espessuras das camadas de estruturas hipotéticas de pavimento e seus respectivos módulos de resiliência através do programa computacional ELSYM-5, avaliando parâmetros técnicos e econômicos por meio da redução das espessuras das camadas a depender do material utilizado. Utilizando parâmetros de análises mecanicistas será realizada a comparação entre metodologias tradicionais de construção e os materiais propostos RCD e RAP, buscando por intermédio dos resultados desses parâmetros um perfil comparativo entre esses materiais, a fim de verificar a viabilidade do seu uso, quanto aos parâmetros propostos.

## 3. Revisão bibliográfica

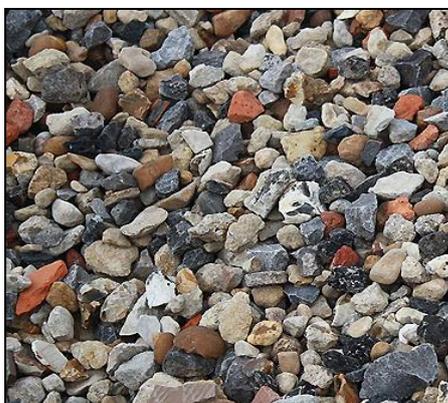
### 3.1- Resíduos de Construção e Demolição (RCD)

O RCD (resíduos de demolição e construção) é um material nobre do ponto de vista da engenharia, pois normalmente se apresenta resistente e com baixa expansão. Estas características indicam o seu grande potencial de reciclagem como agregado para pavimentação. Em São Paulo, em 1984, através de uma parceria da Prefeitura de São Paulo e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT foi construída a primeira via pavimentada com o emprego de RCD [8].

### 3.1.1 - Características do RCD

Uma característica dos resíduos de construção civil e demolição é a heterogeneidade, tanto nas frações granulométricas produzidas, com variados tamanhos e graduações, quanto em sua natureza de composição. Essa heterogeneidade deve-se, muitas vezes, ao processo de desconstrução, ou de descarte, e também pela cultura construtiva, podem encontrar-se contaminados por materiais inorgânicos metais e/ou ligas metálicas ou orgânicos madeira, papel e outros. [3]

As misturas asfálticas devem possuir partículas de agregados mais cúbicas (Figura 1) do que partículas planas, finas ou alongadas; pois estas apresentam um maior intertravamento e atrito interno no corpo pétreo da mistura, resultando em estruturas de maior estabilidade mecânica. [10]. Os agregados reciclados que possuem maior porosidade tendem a apresentar menor resistência ao cisalhamento, influenciando as misturas recicladas.



**Figura 1** – Amostragem de RCD

Um fator preponderante para um bom desempenho de materiais de pavimentação é a curva granulométrica.

No Brasil, os procedimentos normativos (PMSP ETS 001, 2003; ABNT NBR 15115, 2004) referentes aos agregados reciclados utilizados em pavimentação não impõem faixas (superior e inferior), os critérios são quanto à sua distribuição.

Os agregados reciclados têm a função de substituir parcialmente ou totalmente o material natural empregado. As maiores diferenças entre o agregado natural e reciclado são a forma do grão, textura superficial, densidade e absorção. Pode ser utilizado em diversos serviços de engenharia como camada drenante, lastro para assentamento de tubos ou de guias, envelopamento de galerias e estilização de solos expansíveis ou com baixa capacidade de suporte.

Os agregados reciclados de resíduos de construção são empregados em camadas de base, sub-base ou reforço do subleito de pavimentos [12].

### 3.2- Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)

O termo *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) ou concreto de asfalto, figura 2, é usado para identificar qualquer material asfáltico recuperado de um pavimento

existente. O tipo de asfalto originalmente utilizado em conjunto com as variações na mistura asfáltica será consequentemente refletido no material do RAP.

Quando camadas múltiplas de asfalto com misturas diferentes são recuperadas pela fresagem (ou trituradas das lajes), o RAP resultante será uma mistura de todas as misturas do componente. As duas características principais de um material RAP estão associadas ao ligante de betume (o estado, a quantidade e a consistência do betume do material) e a granulometria. [4]

Conforme a *Federal Highway Administration* a reciclagem a quente com mistura asfáltica consiste em um processo no qual são acrescentados novos materiais ao RAP gerando assim uma nova mistura asfáltica. [5]



**Figura 2** – Amostragem de RAP

Devido ao aumento da produção de material fresado, é cabível uma solução para sua destinação final, e essa alternativa envolve as obras que utilizam misturas asfálticas como material de construção. Com essa realidade nasce a reciclagem de pavimentos asfálticos como opção econômica e ambiental sustentável, visto que apresenta uma finalidade para o material fresado, e em certos casos, reaproveitamento de ligantes e também economia de energia.

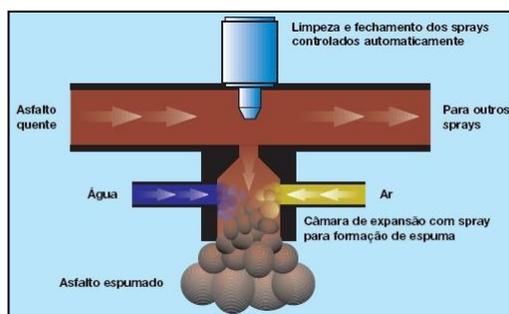
O resíduo do material fresado do pavimento passa por um processo de beneficiamento, onde sofre britagem para se adequar a legislação vigente.

#### 3.2.1 - Espuma de Asfalto

Espuma de Asfalto é o estado temporário obtido a partir da injeção de ar sob pressão e pequena quantidade de água no cimento asfáltico de petróleo (CAP), aquecido à temperatura definida pelo fabricante do equipamento de reciclagem como a mais adequada para o tipo de CAP selecionado para a execução da obra, o que ocasiona forte expansão do ligante.

A obtenção da espuma de asfalto se processa através do aquecimento do ligante asfáltico sob determinadas condições de pressão e temperatura promovendo-se então seu encontro com água pressurizada à temperatura ambiente. A água então se transforma em vapor, que é envolvido pelo ligante muito mais denso causando uma expansão de até 30 vezes seu volume inicial. [6]

A figura 3 ilustra o esquema da câmara de expansão durante o processo da obtenção da espuma de asfalto.



**Figura 3** – Obtenção da espuma de asfalto

A taxa de expansão é a relação entre o volume máximo do CAP em estado de espuma e o volume do material final após o retorno ao seu estado natural. Quanto maior a expansão, mais partículas o CAP consegue envolver tornando assim a distribuição do ligante muito mais eficaz por todo o material. [11]

Meia vida é o tempo em segundos necessário para uma espuma regressir do seu volume máximo até a metade desse volume. As normas determinam que este tempo não deva ser inferior a 5s, pois caso isto ocorra haverá a formação de grumos de ligante aumentando o volume de vazios no material, causando a consequente diminuição da compactação máxima desejada. [11]

Outros fatores que podem influenciar as propriedades da espuma de asfalto são: temperatura do asfalto, quantidade de água adicionada na obtenção da espuma, pressão dos injetores e na câmara de expansão e presença de agentes antiespumantes como derivados de silicone.

#### 4 – Materiais e Métodos

Foi realizado o dimensionamento de três estruturas de pavimento, variando apenas os materiais empregados na sua camada de base. Os materiais alternativos RCD e RAP foram aplicados em camadas de pavimentos flexíveis para testá-los frente às solicitações impostas pelo tráfego. Essa aplicação foi feita, a fim de observar se os mesmos podem vir a substituir os materiais granulares mais frequentes, como a Brita Graduada Simples, a BGS. Os materiais foram ensaiados conforme apresentado na Tabela I.

**Tabela: I** – Materiais para base do pavimento

MATERIAL - BASE	Complemento
BGS	Sem adições
RAP - espumado	+2% CIMENTO
RCD	+4% CIMENTO

Para essas três estruturas, que são compostas por camadas, foram aplicados materiais distintos na camada de base, considerando que os comportamentos elásticos desses materiais apresentam algumas variações em suas características. Para essa análise foram utilizados valores médios para o parâmetro módulo de resiliência, conforme apresentados por Beja [9] em seus estudos. Os valores atribuídos para os módulos de resiliência dos materiais utilizados para a base foram: - BGS igual a

3000 kgf/cm<sup>2</sup>, - RCD igual a 4.079 kgf/cm<sup>2</sup> [9] e RAP igual a 5.507 kgf/cm<sup>2</sup>.

As estruturas do pavimento foram dimensionadas de acordo com o método do DNIT, utilizando critérios como o Índice de Suporte Califórnia (ISC) e Número de solicitações (N) do eixo padrão de 8,2tf, por meio das inequações aplicadas pelo método para obtenção de espessuras das camadas do pavimento.

Foram adotados os seguintes parâmetros para o dimensionamento das estruturas dos pavimentos, ISC (Índice de Suporte Califórnia) do subleito compactado na energia normal 5% e número de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf ao décimo ano de serventia N=2,00 x 10<sup>6</sup> solicitações.

As três estruturas de pavimentos com suas respectivas espessuras, módulos de resiliência e coeficientes de Poisson foram utilizadas como apresentado nas tabelas II, III e IV.

**Tabela: II** - Estrutura 1

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MR (kgf/cm <sup>2</sup> )*	μ*
CONCRETO ASFÁLTICO	5	35000	0,35
BGS	18	3000	0,35
RACHÃO	20	2500	0,40
SOLO SELECIONADO (CBR 10% EN)	14	1000	0,45
SOLO LOCAL (CBR ≥ 5%, expansão < 2 %)	-	500	0,45

\*Valores de Módulo de Resiliência (25°C) e coeficientes de Poisson considerados na análise.

**Tabela: III** - Estrutura 2

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MR (kgf/cm <sup>2</sup> )*	μ*
CONCRETO ASFÁLTICO	5	35000	0,35
AGREGADOS RECICLADOS RCD	18	4079	0,35
RACHÃO	20	2500	0,40
SOLO SELECIONADO (CBR 10% EN)	14	1000	0,45
SOLO LOCAL (CBR ≥ 5%, expansão < 2 %)	-	500	0,45

\*Valores de Módulo de Resiliência (25°C) e coeficientes de Poisson considerados na análise.

**Tabela: IV** - Estrutura 3

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MR (kgf/cm <sup>2</sup> )*	μ*
CONCRETO ASFÁLTICO	5	35000	0,35
RAP ESPUMADO	18	5506	0,35
RACHÃO	20	2500	0,40
SOLO SELECIONADO (CBR 10% EN)	14	1000	0,45
SOLO LOCAL (CBR ≥ 5%, expansão < 2 %)	-	500	0,45

\*Valores de Módulo de Resiliência (25°C) e coeficientes de Poisson considerados na análise.

Para determinação dos esforços admissíveis pela estrutura (D<sub>adm</sub>, E<sub>t</sub> e E<sub>v</sub>, foram empregadas as equações, que são modelos indicados pelo manual de pavimentação do DER-SP [15]:

O deslocamento vertical na superfície do pavimento (D<sub>adm</sub>) – usando a norma DNER PRO-11 pode ser calculado a partir da equação 1. [14]

$$\log(D_{adm})=3,01-0,176\log N \quad (1)$$

onde:

Dadm= Deflexão admissível pela estrutura do pavimento.

N = Número de repetição de carga do eixo padrão de 8,2 toneladas.

Para a deformação horizontal de tração na fibra inferior do revestimento ( $\epsilon_t$ ) conforme representado na figura 4 – FHWA (*Federal Highway Administration*) 1976 [15] será utilizada a equação 2.

$$N = 1,09 \times 10^{-6} x \left( \frac{1}{\epsilon_{tadm}} \right)^{3,512} \quad (2)$$

Onde:

N = Número de repetição de carga do eixo padrão de 8,2 toneladas.

$\epsilon_{tadm}$  = Deformação horizontal de tração, admissível, na fibra inferior do revestimento.

Para a deformação vertical de compressão no topo da camada de subleito ( $\epsilon_v$ ) conforme representado na figura 4 – *Shell (Dornon & Metcalf)* 1965 [15] será utilizada a equação 3.

$$N = 6,069 \times 10^{-10} x \left( \frac{1}{\epsilon_{vadm}} \right)^{4,762} \quad (3)$$

Onde:

N = Número de repetição de carga do eixo padrão de 8,2 toneladas.

$\epsilon_{vadm}$  = Deformação vertical de compressão, admissível, no topo da camada do subleito.

#### 4.1 – Análise Mecanicista - ELSYM-5

A análise mecanicista da estrutura de pavimento requer previamente o conhecimento dos parâmetros relativos à capacidade de suporte dos solos do subleito e do tráfego previsto para o período de projeto, além das propriedades dos materiais constituintes das camadas da estrutura do pavimento.

As estruturas obtidas com o emprego da Instrução de Projeto IP-DE-P00/001 do DER/SP (2006) serão verificadas por meio de Procedimentos Mecanicistas, utilizando – se para tal, as equações de fadiga apresentadas nesta instrução de projeto e o Programa Computacional ELSYM-5.

O programa computacional ELSYM-5 baseia-se em fundamentos da teoria da elasticidade, utilizando métodos indiretos para a solução de equações de equilíbrio e de compatibilidade entre tensões e deformações, simulando a prova de carga nos materiais das camadas dando como resposta as tensões de compressão, tração e cisalhamento atuantes nessa estrutura.

O procedimento de cálculo adotado pelo programa ELSYM-5 idealiza o pavimento como um sistema elástico tridimensional de camadas sobrepostas, semi-infinito no plano horizontal. Os materiais são assumidos

como sendo isotrópicos homogêneos e com comportamento elástico linear.

Na figura 4 são determinados os deslocamentos e deformações internas da estrutura em seus locais críticos, ou seja: no topo da camada de concreto asfáltico - deslocamento vertical ( $D_0$ ), na fibra inferior da camada de concreto asfáltico - deformação horizontal de tração ( $\epsilon_t$ ) e no topo do subleito - deformação vertical de compressão ( $\epsilon_v$ ).

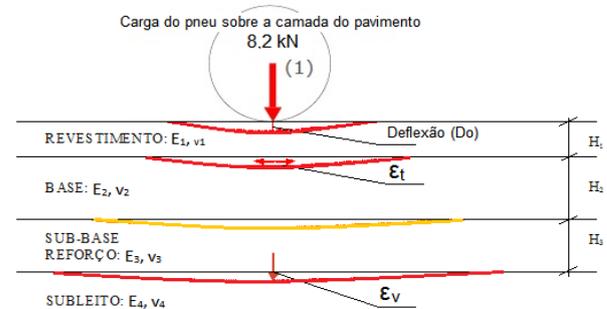


Figura 4 – Diagrama das tensões e deslocamentos

### 5- Resultados

Assim sendo, definidos os deslocamentos e deformações atuantes que se originam no interior do pavimento carregado, para posterior comparação com os valores de deslocamentos e deformações admissíveis que são função do tipo de material empregado na estrutura do pavimento (tabelas: V, VI e VII).

Tabela: V – Base em BGS – Tensões

ESTRUTURA	TIPO	D0 (x10 <sup>-2</sup> mm)	$\epsilon_t$ (x10 <sup>-4</sup> cm/cm)	$\epsilon_v$ (x10 <sup>-4</sup> cm/cm)
1	Atuante	62,96	2,34	4,43
	Admissível	79,62	3,22	5,51

Tabela: VI – Base em RCD – Tensões

ESTRUTURA	TIPO	D0 (x10 <sup>-2</sup> mm)	Et (x10 <sup>-4</sup> cm/cm)	Ev (x10 <sup>-4</sup> cm/cm)
2	Atuante	58,54	1,74	4,12
	Admissível	79,62	3,22	5,51

Tabela: VII – Base em RAP – Tensões

ESTRUTURA	TIPO	D0 (x10 <sup>-2</sup> mm)	$\epsilon_t$ (x10 <sup>-4</sup> cm/cm)	$\epsilon_v$ (x10 <sup>-4</sup> cm/cm)
3	Atuante	54,91	1,24	3,85
	Admissível	79,62	3,22	5,51

Onde:

$D_0$  = Deflexão sob a carga aplicada (figura 4).

$\epsilon_t$  = Deformação horizontal de tração na fibra inferior do revestimento (figura 4).

$\epsilon_v$  = Deformação vertical de compressão, no topo da camada do subleito (figura 4).

Enfocando na análise mecanicista, pode-se diminuir a espessura das camadas atribuídas aos materiais alternativos, mas sempre atendendo as exigências especificadas para as tensões, para que as tensões estejam dentro do admitido por norma, ou seja, tensões atuante menor que a admissível.

Para testar essa hipótese foram dimensionadas duas novas estruturas com materiais alternativos empregados na camada de base do mesmo pavimento hipotético.

Sendo assim, tanto para o RAP espumado, como para os agregados reciclados de RCD, foi possível diminuir as espessuras. Essas espessuras foram reduzidas até o ponto em que as tensões atendessem a exigências especificadas.

A tabelas VIII e IX apresentam as novas estruturas de pavimento com suas respectivas espessuras, módulos de resiliência e coeficientes de Poisson.

**Tabela: VIII** – Estrutura redimensionada - RCD

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MR (kgf/cm <sup>2</sup> )*	μ*
CONCRETO ASFÁLTICO	5	35000	0,35
AGREGADOS RECICLADOS RCD	11	4079	0,35
RACHÃO	20	2500	0,40
SOLO SELECIONADO (CBR 10% EN)	14	1000	0,45
SOLO LOCAL (CBR ≥ 5%, expansão < 2 %)	-	500	0,45

\*Valores de Módulo de Resiliência (25°C) e coeficientes de Poisson considerados na análise.

**Tabela: IX** – Estrutura redimensionada - RAP

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MR (kgf/cm <sup>2</sup> )*	μ*
CONCRETO ASFÁLTICO	5	35000	0,35
RAP ESPUMADO	10	5506	0,35
RACHÃO	20	2500	0,40
SOLO SELECIONADO (CBR 10% EN)	14	1000	0,45
SOLO LOCAL (CBR ≥ 5%, expansão < 2 %)	-	500	0,45

\*Valores de Módulo de Resiliência (25°C) e coeficientes de Poisson considerados na análise.

Como demonstrado nas tabelas VIII e IX, houve um decréscimo na camada de base do pavimento quando empregamos os materiais alternativos sendo 7 cm para os agregados reciclados de RCD e 8 cm para o RAP espumado.

Na tabela X e XI são apresentados, os resultados dessas estruturas, indicando deformações, esforços atuantes e admissíveis.

**Tabela: X** – Base Agregado Reciclado RCD – Tensões

ESTRUTURA	TIPO	D0 (x10 <sup>2</sup> mm)	εt (x10 <sup>-4</sup> cm/cm)	εv (x10 <sup>-4</sup> cm/cm)
4	Atuante	66,78	1,93	5,35
	Admissível	79,62	3,22	5,51

**Tabela: XI** – Base RAP Espumado – Tensões

ESTRUTURA	TIPO	D0 (x10 <sup>2</sup> mm)	εt (x10 <sup>-4</sup> cm/cm)	εv (x10 <sup>-4</sup> cm/cm)
5	Atuante	64,30	1,46	5,33
	Admissível	79,62	3,22	5,51

De acordo com o apresentado nas tabelas X e XI as novas estruturas atendem aos critérios da análise mecanicista, considerando que as tensões atuantes ainda estão inferiores as admissíveis.

## 6. Discussões

Observa-se que as tensões atuantes nos três tipos de estrutura avaliadas são menores que as tensões admissíveis.

A diminuição das espessuras das camadas foi possível, pois, observa-se que as tensões atuantes, mesmo com as espessuras menores foram abaixo das tensões admissíveis.

A possibilidade de diminuição da espessura da camada com a manutenção de sua condição estrutural proporciona redução de volume de material empregado e consequentemente custos.

A análise mecanicista proporciona condição de redução de espessura da camada. Entretanto, se considerarmos coeficiente estrutural igual a 1 para esses materiais, como foi usado no dimensionamento original, esse dimensionamento não atenderia as condições impostas pelo método do DNIT.

O coeficiente estrutural "K" não é especificado para esses materiais novos, portanto utiliza-se o valor igual a 1, para os dimensionamentos pelo método DNIT.

Como análise desses resultados pode-se inferir que: se as espessuras das camadas podem ser reduzidas pela análise mecanicista, há uma possibilidade de verificar os coeficientes estruturais "K" empregados no método DNIT para esses materiais pois, os resultados apontados por esse universo amostral apontaram para essa possibilidade.

As possibilidades de utilização desses materiais geram alguns benefícios ambientais, tais como:

-Menor extração de material novo das jazidas de rochas;

-Nas estradas que são fresadas o material retirado poderá ser reutilizado não havendo a necessidade de deposição no meio ambiente;

-O mesmo acontece com os materiais de demolição de construção, também não serão depositados em botas fora.

Essas atividades geram, no mínimo, quantidades menores de passivos ambientais.

Cabe salientar que, como qualquer outro material novo empregado em camadas de pavimento, deverá ser previamente caracterizado, ensaiado e experimentado para seu emprego na pavimentação. Deve-se verificar, cuidados como origem, absorção, expansão, porosidade, índice de forma, granulometria, entre alguns outros são parâmetros que necessitam de maiores investigações no meio acadêmico. Outro fator importante a salientar é que, o módulo de resiliência adotado para a pesquisa, embora sejam os comumente utilizados para análises paramétricas e estudos de viabilidade, estes podem variar e terem valores distintos para cada tipo de material a depender de suas características.

A continuidade dos testes e das avaliações dos materiais RCD e RAP, inclusive o acompanhamento de estruturas de pavimentos que já utilizam esses materiais,

podem contribuir para verificações que poderão sustentar a aplicabilidade desses materiais para estruturas de pavimentos.

## 7. Conclusão

Os materiais reciclados avaliados neste trabalho por meio de análise mecanicista observando os parâmetros propostos se apresentaram superiores ao material convencional BGS em relação às tensões nos pontos críticos, quando aplicados em camadas de base de pavimentos flexíveis. Considerando as observações feitas nas análises e o espaço amostral experimentado nessa pesquisa, os valores apresentados corroboram com a aplicação dos materiais reciclados em camadas de pavimentos. Esses resultados somados a outros que indiquem essa aplicação, pode proporcionar um avanço, não só estrutural, mas também ambiental, uma vez que haverá redução de extração de materiais de jazidas novas e também a reduzindo passivos ambientais, ou seja, menor deposição de materiais descartados em aterros sanitários.

## 8. Referências

- [1] BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- [2] LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 290 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.
- [3] MELO, A. V. S. **Diretrizes para a produção de agregado reciclado em usinas de reciclagem de resíduos da construção civil**. 2011. 232 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2011.
- [4] WIRTGEN. **Reciclagem a Frio: Tecnologia de reciclagem a frio**, Alemanha, p. 370, 2012. Disponível em: [http://www.wirtgen.de/media/redaktion/pdf-dokumente/03\\_kaltrecycling\\_stabilisierung/\\_allgem\\_ein\\_1/manual/SD\\_HandbuchKaltrecycling\\_PT\\_0113\\_LO.pdf](http://www.wirtgen.de/media/redaktion/pdf-dokumente/03_kaltrecycling_stabilisierung/_allgem_ein_1/manual/SD_HandbuchKaltrecycling_PT_0113_LO.pdf). Acesso em 10 fev 2014.
- [5] BARRETA et al. **VII Jornada de Iniciação Científica – 2011. Estudo comparativo de duas tecnologias diferentes na reciclagem de pavimento asfáltico com espuma de asfalto para utilização em camada de base**. São Paulo, 2011.
- [6] BONFIM, V. **Fresagem de pavimentos asfálticos**. 1 ed. São Paulo: Fazendo Arte, 2000. 112 p.
- [7] DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006 a. 274 p. Disponível em: [http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/Manual\\_de\\_Pavimentacao\\_Versao\\_Final.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf). Acesso em: 20 jan. 2014.
- [8] MOTTA, R. S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego**. 2005. 134 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.
- [9] BEJA, I. A. **Agregado reciclado de construção e demolição com adição de aglomerantes hidráulicos como sub-base de pavimentos**. 2013. 222 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.
- [10] BRASILEIRO, Luzana Leite, **Utilização de Agregados Reciclados Provenientes de RCD em Substituição ao Agregado Natural do Concreto Asfáltico**, 2013, Dissertação de Mestrado Universidade Federal do Piauí, Teresina.
- [11] PMSP – PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **PMSP/SP ETS-002/2009 - Base de Material Fresado com Espuma de Asfalto**. São Paulo, 2009. Disponível em: [http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/Relat%C3%B3rio%20de%20apresenta%C3%A7%C3%A3o%202010/relatorio\\_de\\_apresentacao\\_2010%5B1%5D.pdf](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/Relat%C3%B3rio%20de%20apresenta%C3%A7%C3%A3o%202010/relatorio_de_apresentacao_2010%5B1%5D.pdf). Acesso em: 01 fev. 2014.
- [12] CARNEIRO, A. P.; Burgos, P. C; Alberte, E. P. V. (2001) **Uso do agregado reciclado em camadas de base e sub-base de pavimentos. Projeto Entulho Bom. Salvador: EDUFBA / Caixa Econômica Federal**.
- [13] PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. Tese (Doutorado)** - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- [14] DNER (1979), **Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis – Procedimento B – DNER-PRO 11/79 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Rio de Janeiro – RJ – 16 pp**
- [15] DER/SP – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE SÃO PAULO. **Projeto de pavimentação**. São Paulo: 2006. (IP-DE-P00/001)

## **FATEC/SP**

A *Faculdade de Tecnologia de São Paulo*, uma das mais antigas unidades do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza - CEETEPS, vinculado e associado à UNESP, foi criada no final da década de 1960 e oferece treze Cursos Superiores de Tecnologia, com um quadro de 286 professores, 123 funcionários, mais de 5.000 alunos, tendo já formado mais de 20.000 Tecnólogos. Dispõe de 41 laboratórios e oficinas, Centro de Pesquisa e Programa de Iniciação Científica (PIBIC-CNPq) e de Pós-Graduação (Lato-sensu).

Os Cursos de Graduação oferecidos pela FATEC/SP são:

Análise e Desenvolvimento de Sistemas  
Automação de Escritórios e Secretariado  
Edifícios  
Eletrônica Industrial  
Gestão Empresarial EAD  
Gestão de Turismo  
Hidráulica e Saneamento Ambiental  
Instalações Elétricas  
Materiais Cerâmicos, Poliméricos e Metálicos  
Microeletrônica  
Mecânica de Precisão  
Movimento de Terra e Pavimentação  
Processos de Produção  
Projetos  
Soldagem



Praça Coronel Fernando Prestes, 30 – Bom Retiro  
CEP 01124-060 São Paulo, SP  
Telefones: (011) 3322-2202, FAX (011) 3315-8498

\* [www.fatecsp.br](http://www.fatecsp.br) \*