



Vol. XXXVI - Número 2 / 2019

Revista Militar de

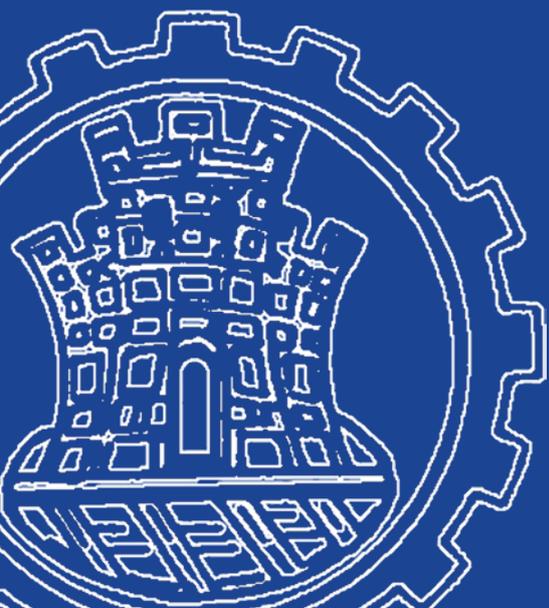
# Ciência e Tecnologia

Versão on-line: ISSN 2316-4522

## ARTIGOS

- ESTUDO E ANÁLISE DO FENÔMENO DO COLAPSO DE UM CONE DE CARGA OCA* ..... 03  
*Rafaela Valões Silva, Édio Pereira Lima Júnior, Guilherme Pinto Guimarães, Arnaldo Ferreira*
- ANÁLISE DE CENÁRIO ENVOLVENDO INCÊNDIO EM MATERIAL RADIOATIVO ORIENTADO À RESPOSTA À EMERGÊNCIA* ..... 10  
*Rodrigo Werner da Silva, Wilson Freitas Rebello da Silva Junior, Edson Ramos de Andrade*
- DETECÇÃO DE COMUNIDADES BASEADA EM INFORMAÇÕES CONTEXTUAIS EM REDES HOMOGÊNEAS COM ATRIBUTOS* ..... 14  
*M. V. Dias\*, P. A. Braza, E. B. Silva e R. R. Goldschmidt*
- RECONHECIMENTO DE EXPRESSÕES FACIAIS ATRAVÉS DE REDES BAYESIANAS* ..... 23  
*Eliaquim Monteiro Ramos, Anderson Alvarenga Meneses, Cleudilene Silva Rufino*
- MÉTRICAS F.O.R PARA A DETECÇÃO DE ATAQUES SLOW DOS* ..... 29  
*Dulcineia S Sennejuncker\*, Anderson F P dos Santos*
- USO DE METODOLOGIA DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA A IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PARA A HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL - DUQUE DE CAXIAS/RJ* ..... 37  
*Daniel Taboada Placido\*, Leonardo Castro de Oliveira, Marcos de Meneses Rocha*
- SISTEMAS FUZZY COMPLEMENTAM A DETECÇÃO DE SOCIALBOTS POR APRENDIZADO DE MÁQUINA* ..... 50  
*Carla C. Pacheco, Alex Garcia, Raphael Machado e Ronaldo M. Salles*
- PROPOSTA DE MODELO ESTOCÁSTICO PARA MINIMIZAÇÃO DO MÁXIMO RESÍDUO ABSOLUTO EM REDES DE NIVELAMENTO* ..... 55  
*Stefano S Suraci\*, Leonardo C Oliveira*

Versão on-line: <http://rmct.ime.eb.br>



Biblioteca do Exército  
Tradição e qualidade em publicações



# Editorial

*A Revista Militar de Ciência e Tecnologia (RMCT), publicação feita pelo Instituto Militar de Engenharia, a partir do conceito definido em nossa instituição, considera que o Engenheiro Militar tem como principal função apoiar as Forças Armadas no desenvolvimento de novos equipamentos militares, desde armamentos até produtos de alta tecnologia, como aeronaves e satélites, o que lhe atribui uma importante função na formação de militares profissionais, capacitados a desenvolver técnicas e processos de alta tecnologia para emprego em atividades bélicas.*

*Essa é uma atividade onde o compartilhamento de conhecimento das tecnologias entre países é limitado, não sendo normal troca de auxílio ou de conhecimento técnico. Desta forma, pode-se verificar que o engenheiro formado nos institutos de ensino das Forças Armadas tenha conhecimento sólido e profundo das matérias curriculares para garantir que o país possa desenvolver Materiais de Emprego Militar (MEM), independentemente de apoio externo.*

*Conforme já divulgado através de mensagem em nossa instituição, “O mundo atual exige que cada país consiga superar eventuais problemas de desenvolvimento sozinho. Por isso, o engenheiro militar precisa ser determinado e criativo o suficiente para superar esses obstáculos sem ajuda externa”, ainda nessa mensagem é destacado o fato de apesar de não ser o Brasil um país com tradição de conflitos, é inegável que o país deva manter uma estratégia de defesa para dissuasão de conflitos.*

*É nesse contexto que a RMCT se apresenta como uma alternativa da maior importância para divulgação e discussão de temas em desenvolvimento em institutos militares, especialmente aqueles desenvolvidos no IME, visando atrair para esse fórum outras instituições, militares ou civis, que estejam desenvolvendo matérias que possam vir a ter interesse de aplicação no campo militar. Esse comportamento é especialmente importante em se considerando que, no país, as instituições de pesquisa estão distribuídas em órgãos subordinados a diversas instituições.*

*Essa ação é particularmente importante quando se admite que a atual conjuntura mundial sinaliza o término da estrutura produtiva, conseqüente da “Revolução Industrial”, período iniciado ao final do século XVIII, e o início de uma nova era devido, que já está sendo chamada de era da “Revolução Digital, onde avulta a necessidade constante de estímulo ao desenvolvimento tecnológico.*



## Revista Militar de Ciência e Tecnologia

### Comandante do Exército

Gen Ex Edson Leal Pujol

### Departamento de Ciência e Tecnologia

Gen Ex Décio Luís Schons

### Departamento de Educação e Cultura do Exército

Gen Ex Mauro Cesar Lourena Cid

### Editor

Ten Cel Cav Marco André Leite Ferreira  
Diretor da BIBLIEx

### Corpo Redatorial

- Presidente: Gen Div Luis Henrique de Andrade
- Editor executivo: Edison Conde Perez dos Santos
- Engenharia Civil, Transportes e Ciências Ambientais:  
Antônio Carlos Rodrigues Guimarães – IME (SE/2)
- Engenharia Nuclear: Sérgio de Oliveira Vellozo – IME (SE/7)
- Engenharia Elétrica: Geraldo Magela Pinheiro Gomes – IME (SE/3)
- Engenharia Mecânica: André Luiz Tenório Rezende – IME (SE/4)
- Ciência dos Materiais: André Ben-Hur da Silva Figueiredo – IME (SE/8)
- Ciência da Computação: Paulo Cesar Salgado Vidal – IME (SE/9)
- Engenharia de Defesa: Antônio Eduardo Carrilho da Cunha – IME (SE/10)
- Engenharia Química e Química: Kátia Regina de Souza – IME (SE/5)
- Engenharia Cartográfica: Heloísa Alves Silva Marques – IME (SE/6)
- Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação: Aderson Campos Passos – IME (SE/9)
- Outras áreas: Paulo Henrique Coelho Maranhão – IME (SE/4); Raquel Aparecida Abrahão Costa e Oliveira – IME (SE/6)

### Editores associados externos

- Dr. André Fenili – Universidade Federal do ABC, Santo André, SP
- Dr. Artur Ziviani – Lab. Nacional de Computação Científica (LNCC), Petrópolis, RJ
- Dr. Fernando Fachini Filho – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, SP
- Dr. José Carlos Costa da Silva Pinto – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ
- Dr. José Carlos Maldonado – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP
- Drª. Júlia Célia Mercedes Strauch – Escola Nacional de Ciências Estatísticas, RJ
- Dr. Luiz Pereira Calôba – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ
- Dr. Otto Corrêa Rotunno Filho – COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ
- Dr. Richard Magdalena Stephan – COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ
- Dr. Webe João Mansur – COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ

### Composição

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA – IME  
Praça General Tibúrcio, 80  
Praia Vermelha – Rio de Janeiro-RJ – CEP 22.290-270  
Tel.: (21) 2546-7115

### Projeto Web

Rubenildo Python de Barros  
<http://rmct.ime.eb.br>  
[rmct@ime.eb.br](mailto:rmct@ime.eb.br)

### Revisão, programação e diagramação

Coordenador: Edison Conde Perez dos Santos  
Revisores: Giana Elvira de Oliveira Marquês; Suzana Marly da Costa Magalhães  
Programador Web: Rubenildo Python de Barros  
Diagramador: Luiz Tadeu Carqueija Mota

### Projeto gráfico e editoração eletrônica

Luiz Tadeu Carqueija Mota – IME (SMA)  
Telefone: (21) 2546-7118  
[tadeu.mota@gmail.com](mailto:tadeu.mota@gmail.com)

### Direção, edição e distribuição

BIBLIEx  
Palácio Duque de Caxias  
Praça Duque de Caxias, 25 – 3º andar – Ala Marcílio Dias  
Rio de Janeiro, RJ – Brasil – CEP 20.221-260  
Tels.: (21) 2519-5715 – Fax: (21) 2519-5569  
[www.bibliex.eb.mil.br](http://www.bibliex.eb.mil.br)  
[bibliex@bibliex.eb.mil.br](mailto:bibliex@bibliex.eb.mil.br)

# Estudo e análise do fenômeno do colapso de um cone de carga oca

Rafaela Valões Silva<sup>a</sup>, Édio Pereira Lima Júnior<sup>a</sup>, Guilherme Pinto Guimarães<sup>b</sup>, Arnaldo Ferreira<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Instituto Militar de Engenharia, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais – SE/4  
Praça General Tibúrcio, 80, 22290-270, Praia Vermelha  
Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>b</sup>Centro Tecnológico do Exército  
Av. das Américas, 28705 - Barra de Guaratiba, Rio de Janeiro -  
RJ, 23020-470

\*rafaelavaloes@gmail.com

**RESUMO:** Simulações com carga oca foram realizadas para examinar a perfuração em uma rocha encontrada em sítios de produção de petróleo. Foram realizados estudos da interação do explosivo e do material metálico, a formação do jato e o comportamento dos alvos durante a penetração. Foi usada uma carga similar as utilizadas pelas prestadoras de serviço. Os alvos são o tubo de serviço, coluna de cimentação e reservatório com arenito Berea. A simulação da carga oca foi feita no modelo Euleriano, e para a penetração foi empregado o modelo Lagrangiano. O tempo de detonação na simulação foi menor que 2% comparado ao tempo calculado com a velocidade de detonação experimental do explosivo RDX. Os resultados obtidos permitiram uma melhor compreensão do fenômeno de perfuração e penetração de um jato metálico produzido pelo efeito de carga oca em diferentes materiais, fornecendo uma base sólida para futuro estudos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Canhoneio. Carga oca. Explosivo.

**ABSTRACT:** Hollow-charge simulations were performed to examine drilling in a rock found at oil production sites. Studies of the interaction of explosive and metallic material, jet formation and target behavior during penetration were carried out. A load similar to that used by the service providers was used. The targets are the service pipe, cementing column and reservoir with Berea sandstone. The simulation of the hollow load was done in the Eulerian model, and for the penetration the Lagrangian model was used. The detonation time in the simulation was less than 2% compared to the time calculated with the experimental detonation speed of the RDX explosive. The results obtained allowed a better understanding of the phenomenon of drilling and penetration of a metallic jet produced by the effect of hollow load on different materials, providing a solid basis for future studies.

**KEYWORDS:** Cannonade. Charge Shaped. Explosive.

## 1. INTRODUÇÃO

A completação é um dos processos mais importantes para a produção de petróleo. Este processo consiste em perfurar o poço e comunicar a formação com o poço revestido. Na região do pré-sal, existem várias dificuldades em estabelecer esta comunicação. Uma delas é que as rochas desta região são extremamente heterogêneas, o que dificulta a estabilidade do poço. Outra é que essas rochas estão em torno de 7 mil metros de profundidade, sob a pressão da camada água do mar, de pós sal e de sal. Estas camadas fazem com que as rochas se tornem muito duras e compactadas.

Um dos métodos usados com mais frequência para estabelecer a comunicação entre o poço e a formação rochosa é a técnica de canhoneio. Esta técnica consiste em abrir a formação com cargas explosivas, que geram jatos de alta pressão e que podem penetrar a formação, abrindo canais para o escoamento do óleo.

O estudo sobre o colapso de carga oca é de grande importância para o desenvolvimento da técnica de canhoneio. Possui uma aplicação dual, visto que além do interesse na indústria do petróleo, também permite aplicação na indústria de defesa. É bem conhecido na área militar a importância do desenvolvimento de artefatos, que empregam o conceito de carga oca, para a perfuração de blindagens.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O estudo das ondas de choque inicia na época em que os europeus começaram a investir no melhoramento do armamento. Essa necessidade surgiu para que os projetis pudessem atravessar rapidamente as trincheiras com sacos de areias. Em 1876, Mach publicou um trabalho sobre o fluido em volta dos projetis.

Para mostrar claramente a onda de choque, Mach faz

uso de variações da massa específica do ar na linha de frente do projétil. Ele também obteve um bom entendimento dos fundamentos de fluidos supersônicos com os efeitos do movimento dos projetis. Demonstrou a existência da onda de choque e sugeriu a importância da relação da velocidade de choque e a velocidade do som [1].

Com a Segunda Guerra Mundial (1939 a 1945), a carga oca foi desenvolvida para a destruição de carros de combate. O estudo do colapso e penetração com carga oca se iniciou com BIRKHOFF *et al* [2]. Em 1948, ele publicou um trabalho que verifica o aumento de penetração com a presença de uma camada de revestimento e o distanciamento do alvo chamado de stand-off. Os primeiros estudos publicados que fazem o uso da carga oca no processo de canhoneio em poço de petróleo são datados da década de 40. Empresas prestadoras de serviço de petróleo desenvolveram canhões a partir das cargas militares desenvolvidas na segunda guerra mundial. A partir daí, outras companhias e universidades, em sua maioria americanas, efetuaram o desenvolvimento e melhoramento do desempenho das cargas.

MEYERS [3] também discorre sobre ondas de detonação, a influência da impedância entre material metálico e explosivo e as equações de governo durante a propagação da onda de detonação, como as equações de conservação e estado. São verificados os pontos de von Neumann e Chapman-Jouguet que são de grande importância para compreensão da frente da onda de detonação e a sua descontinuidade. A FIG. 1 contém a estrutura da onda de detonação e os pontos de von Neumann e Chapman-Jouguet ( $P_{CJ}$ ) no perfil de pressão e tempo. A pressão do ponto de Chapman-Jouguet ( $P_{CJ}$ ), velocidades das partículas ( $P_{CJ}$ ) e a velocidade de detonação ( $D$ ) dependem do explosivo a ser detonado. O ponto de von Neumann apresenta-se na frente de onda enquanto que o ponto de Chapman-Jouguet é verificado após um tempo muito pequeno do ponto de von Neumann. Para fins de simplifi-

cação computacional, somente o ponto de Chapman-Jouguet é considerado nos cálculos.

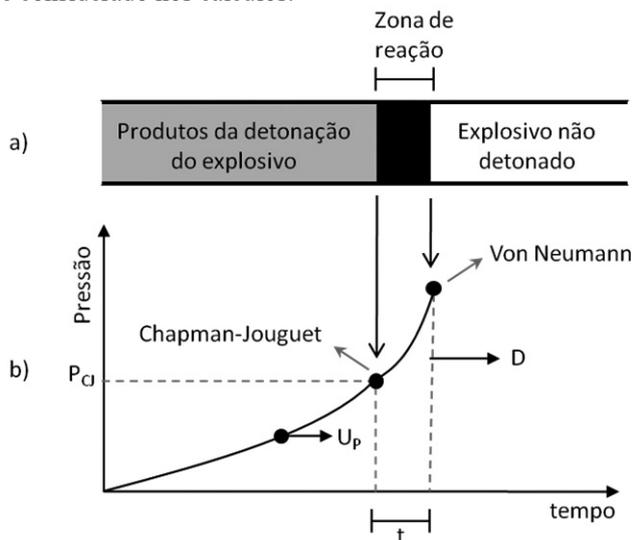


Fig 1: (a) estrutura de onda de detonação e (b) o perfil de pressão (adaptado de MEYERS, 1994).

Na frente da onda de choque considera-se uma descontinuidade em relação a pressão e a energia. E, para ultrapassar este fenômeno, é introduzida a viscosidade artificial de von Neumann e Richtmyer. A proposta é adicionar um termo à pressão, de modo que a mudança de pressão é distribuída ao longo de algumas células, em vez de ocorrer de forma descontínua. A adição do termo de viscosidade artificial muda as equações de conservação de massa e energia.

HUANG *et al* [4] em 2011 fez o uso da viscosidade artificial com o programa AUTODYN para realizar uma análise numérica de um típico problema de detonação de TNT sob a água, e observa os efeitos da viscosidade sobre o processo físico energético realizado. A viscosidade artificial é adicionada a pressão para solucionar as descontinuidades da onda de choque. Diferente do trabalho apresentado por MEYERS [3], cuja termo de viscosidade artificial é somente quadrática, o trabalho de HUANG *et al* [4] apresenta dois termos de viscosidade artificial: um quadrático e outro linear. A equação usada no programa AUTODYN apresenta estes dois termos.

### 3. MÉTODOS COMPUTACIONAIS

O método de Euler e de Lagrange foi utilizado, e estes têm suas equações desenvolvidas em diferenças finitas. A simulação da carga oca gera grandes deformações e o modelo Euleriano consegue suportar altas deformações e tensões, o comportamento do material não-linear, fragmentação e propagação de ondas de choque. Para a simulação da penetração do jato no alvo, o método de Euler também é testado, porém o que mostra eficiência na geração de resultados é o método de Lagrange. Isto se dá porque o modelo Euleriano produz mais gasto computacional para gerar resultados que o modelo Lagrangeano.

O método de Euler contém uma grade numérica fixa no espaço enquanto há o movimento de matéria em relação a grade. Este método é mais usado para representar fluidos, apresentando o efeito de suportar altas taxas de deformações ou situações de escoamento. Este método computacional tem como desvantagem o esforço computacional alto para manter as interfaces do material e dissipação numérica [5].

O processo de solução por Euler-Multimaterial, que é

empregado no AUTODYN, esta descrito no trabalho de GÜREL [6] e no manual AUTODYN Theory Manual [7, 8]. Nas duas referências, as equações de conservação são descritas na forma de diferenças finitas utilizado um volume de controle. A resolução se dá em dois passos. No primeiro passo, chamado de Lagrangeano, as equações são atualizadas e progredem ao passo de tempo. No segundo passo, as variáveis são atualizadas e mapeadas na malha Euleriana.

No método de Lagrange a malha é fixa ao material simulado, e acompanha o movimento e a deformação do mesmo em regiões de distorção relativamente baixas. Este método é mais indicado para representar estruturas sólidas. Tem como vantagem a fácil adição de modelos complexos e a sua eficiência computacional, mas a malha pode ficar muito distorcida em regiões extremamente deformadas [5].

### 4. FORMULAÇÃO TEÓRICA

Para a simulação de uma carga oca são usados vários tipos de materiais e cada um apresenta comportamentos diferentes. Assim, para cada material são empregadas equações que descrevem essas transformações. As equações que estão contidas no código são equações de conservação, a equação de estado do material, de Mie-Grüneisen, de Jones-Wilkins-Lee e P-alpha, as equações constitutivas de Johnson-Cook, Von Mises e Concreto RHT.

O tratamento matemático das ondas de choque foi originalmente desenvolvido por Rankine e Hugoniot. As equações podem ser facilmente desenvolvidas ao considerar regiões imediatamente antes e após a frente de choque. O estado do meio na frente e após a onda de choque obedecem as leis de conservação de massa, momentum e energia [3].

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \nabla \cdot u = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left( \frac{Du}{Dt} \right) = -\nabla P \quad (2)$$

$$\frac{dE}{dt} + P \frac{dV}{dt} = 0 \quad (3)$$

$\rho$  é massa específica,  $u$  é vetor velocidade,  $t$  é tempo,  $P$  é a pressão,  $V$  é volume específico e  $E$  é a energia interna específica por unidade de massa.

As equações de estado são essenciais para descrever a onda de choque em uma dada carga e um dado alvo. Somente com as equações de conservação não é possível calcular todas as variáveis. Assim, é necessário mais uma equação de estado para possibilitar a resolução do sistema. Uma dessas equações relaciona a velocidade de propagação da onda de choque com a velocidade de partícula:

$$U_s = C_0 + s_1 U_p \quad (4)$$

tem-se  $U_s$  que é a velocidade de propagação da onda de choque,  $U_p$  é velocidade da partícula,  $C_0$  é velocidade do som e  $s_1$  é constante empírica da equação de estado do material.

A equação de estado de Mie-Grüneisen permite calcular a pressão em um material sob a ação de uma onda de choque. Os termos  $P_H$  e  $E_H$  são pressão e energia de Hugoniot e que servem como valores de referência,  $\gamma$  é o coeficiente de Mie-Grüneisen.

$$P = P_H + \frac{\gamma}{V} (E - E_H) \quad (5)$$

A detonação do explosivo, a equação de estado que é usada para a detonação do explosivo é a de Jones-Wilkins-LEE.

$$P = A \left[ 1 - \frac{w\eta}{R_1} \right] \exp\left(-\frac{R_1}{\eta}\right) + B \left[ 1 - \frac{w\eta}{R_2} \right] \exp\left(-\frac{R_2}{\eta}\right) + w\rho E \quad (6)$$

$A$ ,  $B$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  e  $w$  são parâmetros de ajuste experimental e  $\eta$  é a razão das massas específicas.

A relação da pressão para materiais porosos, como é o caso do cimento, foi sugerida por HERMANN [9] e está descrita a seguir:

$$\alpha = 1 + (\alpha_p - 1) \left[ \frac{P_s - P}{P_s - P_e} \right]^n \quad (7)$$

$n$  é o expoente de compactação ( $n=3$  é normalmente usado).  $P_e$  é a pressão elástica e  $P_s$  é a pressão total de compactação. A porosidade do material no início da deformação plástica é dado por  $\alpha_p$  [10].

Além das equações de estado, o material do jato e do alvo possuem um modelo de resistência. Neste trabalho faz-se o uso do modelo de Johnson-Cook para o revestimento, o modelo Concreto RHT para o concreto e modelo de falha Von Mises para o arenito Berea e o tubo de serviço.

O modelo de Johnson-Cook visa modelar o comportamento de resistência do material metálico do revestimento. A equação constitutiva do modelo de Johnson-Cook calcula a limite de escoamento dinâmico do material:

$$\sigma_y = (A + B \varepsilon_p^n) \left( 1 + C \log \frac{\dot{\varepsilon}_p}{\dot{\varepsilon}_0} \right) (1 - T_*^m) \quad (8)$$

$A'$ ,  $B'$ ,  $C'$ ,  $m$  e  $n$  são parâmetros obtidos experimentalmente para cada material.  $\varepsilon_0$  é a taxa de deformação inicial que normalmente é  $\varepsilon_0=1$ . E  $T_*$  é a temperatura reduzida.

O modelo de falha de Von Mises foi proposto por von MISES [11] a fim de descrever escoamento plástico em metais. O critério de von Mises permite o cálculo simples da tensão equivalente e a deformação equivalente ( $\sigma_e$ ). A tensão equivalente está relacionada com as tensões principais  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  e  $\sigma_3$ .

$$\sigma_e = \left[ \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2} \quad (9)$$

O modelo de Concreto RHT é um modelo avançado de plasticidade para materiais frágeis desenvolvidos por RIEDAL et al em 1999 [12]. A equação geral deste modelo constitutivo está apresentada a seguir [9]:

$$f_{rup} = -Y_{TXC} (p) \cdot R_3 \cdot F_{AD} \quad (10)$$

Onde  $Y_{TXC}$  é a superfície de fratura,  $F_{AD}$  é o factor de aumento dinâmico e  $R_{3(\theta)}$  é o terceiro termo de dependência invariante.

## 5. MODELAGEM COMPUTACIONAL

A modelagem computacional é a aplicação de modelos matemáticos e técnicas da computação à análise, compreensão e estudo da fenomenologia de problemas complexos. Na

modelagem computacional são verificadas as condições iniciais, como o material usado, as equações de estado e constitutivas usadas para cada material, a geometria da carga e do alvo, e malhas aplicadas.

Para a elaboração do projétil são usados três materiais. Um material metálico compõe o invólucro que envolve a carga que onde contém material explosivo e o revestimento. O revestimento contido na carga é também composto de um material metálico.

O material usado para o invólucro é o Aço 4340 que possui resistência ultra- alta a tração e pode ser usado em casos que exigem variados tipos e níveis de sollicitação. A equação de estado usada na simulação para o invólucro é a equação estado de Mie-Grüniesen, e a equação constitutiva é a equação de Johnson-Cook.

O material que compõe o explosivo para este trabalho é o RDX (Research Department X). A equação de estado para os explosivos usados é equação de Jones-Wilkins-Lee (JWL), que é uma simples relação da pressão com volume e energia, e esta equação descreve a expansão adiabática dos produtos de detonação de explosivos. Para o revestimento o material usado na carga é o cobre OFHC (Oxygen Free High Conductivity), que é um material livre de oxigênio e possui alta condutividade.

A equação de estado usada para simular o cobre OFHC é a equação de estado do material [13].

A carga usada para a simulação é uma carga similar às cargas empregadas por empresas prestadoras de serviço na indústria de petróleo. A Fig. 2 contém o desenho e o dimensionamento aproximado da carga empregada na simulação. A malha usada para simular o colapso da carga é a Euleriana. A distribuição da malha é de 0,3 por 0,3mm.

Os materiais usados no alvo são três também. Um deles é o tubo A25 PSL1 F usado como tubo de serviço, por onde desce o canhão e sobe o petróleo do reservatório. A norma API 5L 43ªed. [14] contém dados do tubo assim como o dimensionamento deste. Outro alvo é a coluna de cimentação composta pelo cimento CONC-35MPa que é usado para revestir e proteger o poço de possíveis precipitações.

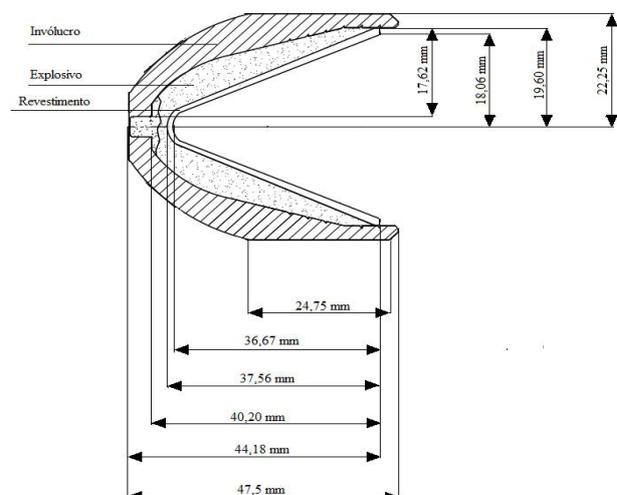


Figura 2: Carga oca 4" Port Plu Gun RDX

O material que compõe o alvo que simula o reservatório é o arenito Berea que é típico de locais que possuem petróleo. Para a simulação a rocha é considerada isotrópica, e se desconsidera a influência dos poros na rocha. Os valores de entra-

da para a equação de estado são aproximados fazendo o uso de valores de concreto com a massa específica próxima ao valor da rocha. A Tab. 1 tem os dados de entrada do arenito Berea.

**Tab 1:** Dados de entrada da rocha Berea (AUTODYN).

Parâmetro	Valor
Equação de estado do material	
Massa específica de referência $\rho_0$ (kg/cm <sup>3</sup> ) [15]	0,002631
Coefficiente de Gruneisen [16]	0,75
Parâmetro C0 [17]	2,6
Parâmetro s1 [18]	1,49
Temperatura de referencia (K)	300
Equação constitutiva de Von Mises	
Módulo de cisalhamento (GPa) [19]	6,0
Tensão de escoamento (MPa) [20]	71.6

Após a simulação da carga no enfoque Euleriano, ela é remapeada em uma malha Lagrangeana com a adição de dados do alvo. Alguns ciclos são passados de modo, que o jato seja bem formado e para que os materiais do involucro e explosivo sejam excluídos da malha. A Tab. 2 apresenta as camadas que são penetradas e os valores de cada uma.

**Tab 2:** Camadas de penetração e valores de espessura para o alvo.

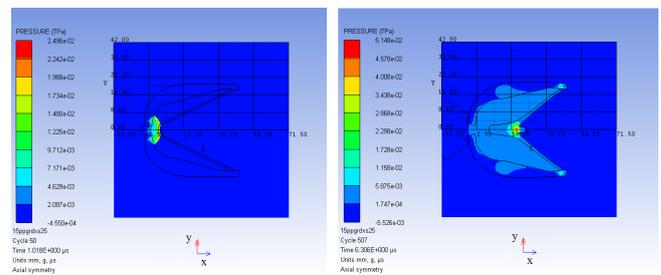
Camadas	Primeira camada	Segunda camada	Terceira Camada
Material	Tubo A25 PSL1 F [14]	CONC-35 MPa [21]	Arenito Berea
Espessura (mm)	6,6	63,5	400
Altura (mm)	100	100	100

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram obtidos primeiramente na malha Euleriana para a detonação da carga, e posteriormente na malha Lagrangeana para a penetração do jato no alvo. A duração total para toda simulação em ambas as malhas é de cinco dias vinte e duas horas e nove minutos correspondendo a uma simulação de cinco minutos para o processamento de 12,24  $\mu$ s na malha Euleriana e de cinco dias vinte e duas horas e quatro minutos para a simulação de 3000  $\mu$ s na malha Lagrangeana. O passo de tempo a cada ciclo nesta simulação está entre  $\mu$ s e  $\mu$ s. Neste trabalho, as simulações numéricas foram realizadas utilizando-se os seguintes recursos computacionais: processador Intel(R) Core (TM) i5-3317U CPU @ 1,70 GHz 1,70 GHz, memória (RAM): 4,00 GB, sistema operacional de 64 Bits, softwares ANSYS AUTODYN e 14.5 MATLAB 8.0 (R2012b).

A simulação do explosivo ocorre por uma onda de detonação pontual iniciada na extremidade esquerda e avançando contra o revestimento. Os dados de saída do programa para malha Euleriana estão compostos pelos resultados obtidos no explosivo e no revestimento.

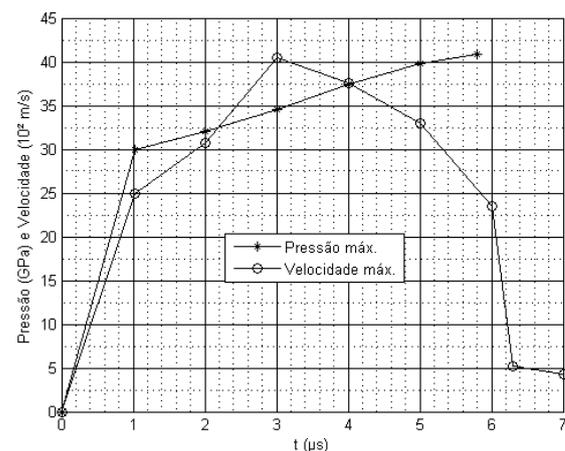
Os resultados obtidos no explosivo são as pressões máximas, velocidades máximas e tempo em que a onda de detonação percorre todo explosivo. A Fig. 3 representa os valores de pressão no tempo logo após a detonação ( $t=1,018 \mu$ s) e no tempo em que a onda de detonação já passou por todo o explosivo ( $t=6,306 \mu$ s) e se encontra na base do cone.



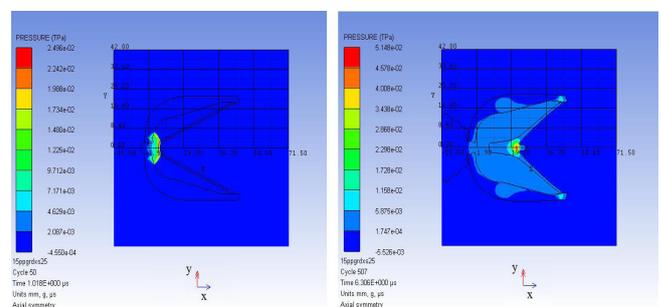
**Figura 3:** À esquerda a carga no tempo 1,018  $\mu$ s e à direita a carga no tempo de 6,306  $\mu$ s.

A Fig. 4 contém os resultados obtidos das máximas pressões dentro do explosivo até que a onda de choque passe por todo explosivo. Pode-se observar que o pico de pressão aumenta até 40,47 GPa no tempo 3  $\mu$ s e decai em seguida porque há diminuição da quantidade de explosivo não detonado na carga. Nesta mesma figura tem-se as máximas velocidades das partículas do explosivo até o tempo de 5,802  $\mu$ s. A velocidade máxima encontrada é 4080,0 m/s no tempo de 5,802  $\mu$ s.

A Fig. 5 ilustra as velocidades e pressões no tempo em que a frente da onda de detonação chega no final do explosivo ( $t=5,802 \mu$ s) e todas as partículas passaram a ter velocidade. Com esta figura é possível observar as velocidades mais altas das partículas no revestimento em vermelho e ao final do explosivo na cor azul claro.



**Fig 4:** Pressões máximas no explosivo da carga oca até o tempo de 6,306  $\mu$ s e velocidades máximas das partículas de explosivo da carga oca até o tempo de 5,802  $\mu$ s.



**Fig 5:** Pressões e Velocidades absolutas máximas da carga oca no tempo de 5,802  $\mu$ s.

A Tab. 3 mostra a comparação entre o tempo de detonação do explosivo obtido na simulação e o tempo obtido utilizando a velocidade de detonação teórica do explosivo RDX (8,180km/s). Os resultados obtidos entre os dois se apresentaram muito próximos, pois a diferença percentual é menor que 2%.

**Tab 3:** Valores do tempo de passagem do pico de onda na simulação e calculado pela velocidade de detonação do RDX, e a diferença percentual entre os dois.

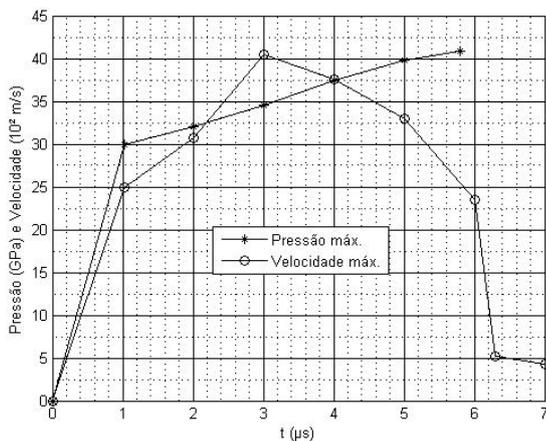
Propriedade	Simulação	Velocidade de detonação do RDX	Diferença
Tempo (μs)	5,802	5,908	1,794%

A Tab. 4 contém os valores máximos de pressão e velocidade encontrados no explosivo RDX e o tempo em que esses valores são encontrados.

**Tab 4:** Valores máximos de pressão e velocidade de partícula encontrados no explosivo RDX nos respectivos tempos.

Propriedade	Valores	Tempo (μs)
Pressão máxima	40,47 GPa	3
Velocidade máxima	4080,0 m/s	5,802

Foram também verificados os valores das pressões e velocidades máximas encontradas no revestimento. A Fig. 6 contém as pressões e velocidades máximas no revestimento entre os tempos 0 μs e 12,24 μs. A pressão no revestimento cresce até 5 μs com 56,7 GPa e, ao longo do tempo, decresce seu valor. Isto ocorre porque no tempo de 6 μs, o pico da onda de detonação já chegou ao final do explosivo (t=5,802 μs). Então o revestimento não recebe mais onda de detonação e a tendência das pressões dentro do revestimento é atenuar. A velocidade máxima encontrada é no tempo de 7 μs, bem logo após a passagem de toda pressão da onda de detonação, que ocorre até o tempo de 6,306 μs. O fenômeno ocorre com a passagem de toda pressão da onda de detonação, as partículas adquirem um valor de velocidade. Quando não há o término da passagem da onda de pressão, as velocidades das partículas passam a diminuir com tempo.



**Fig 6:** Pressões e velocidades máximas no revestimento da carga oca no tempo de 0 até 12,24 μs na malha Euleriana.

A Tab. 5 contém os valores máximos de pressão, velocidade e massa específica encontrados no revestimento, e o tempo em que esses valores são encontrados.

**Tab 5:** Valores máximos de pressão, velocidade e massa específica encontrados nos elementos do revestimento nos respectivos tempos

Propriedades	Valores	Tempo (μs)
Pressão máxima	56,70GPa	5
Velocidade máxima	7468 m/s	7
Massa específica máxima	0,01052kg/cm <sup>3</sup>	5

A penetração nos alvos aço (tubo de serviço), concreto (CONC-35MPa) e o arenito Berea são realizados após a simulação na malha Euleriana até o tempo de 12,24 μs. Nesta simulação, a malha usada é a Lagrangeana. A contagem do tempo é reiniciada e recomeça do 0 μs. A carga é remapeada com as condições que estava na malha Euleriana.

O primeiro alvo que o jato encontra é o tubo de serviço A25 PSL1 F. O segundo alvo em que o ocorre a penetração é na coluna de cimentação. E o último alvo é o arenito Berea. A Tab. 6 contém os valores de tempo de cada penetração em cada alvo.

**Tab6:** Valores do tempo de passagem do jato em cada alvo.

Alvo	Tempo (μs)
Tubo de serviço A25 PSL1 F	2,6
Coluna de Cimentação	18,6
Arenito Berea	2978,8

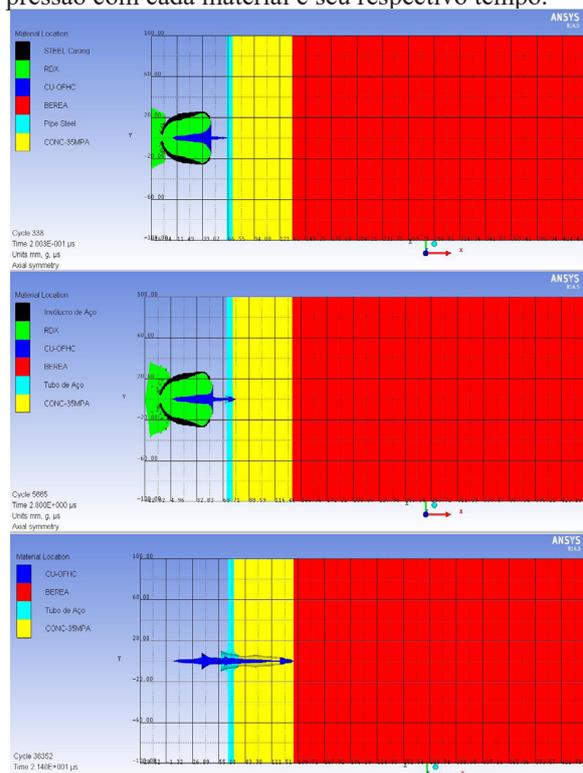
A Fig. 7 mostra o início de penetração nos três alvos. O jato colide com o tubo de aço no instante de 0,2003 μs; a colisão com o concreto ocorre no instante 2,8 μs e com o arenito Berea ocorre no instante 21,40 μs.

A Fig. 8 mostra a penetração do jato e o acúmulo no final do túnel nos tempos de 2000 μs e de 3000 μs. Entre esses dois tempos não há muita diferença de penetração como mostra a Tab. 7.

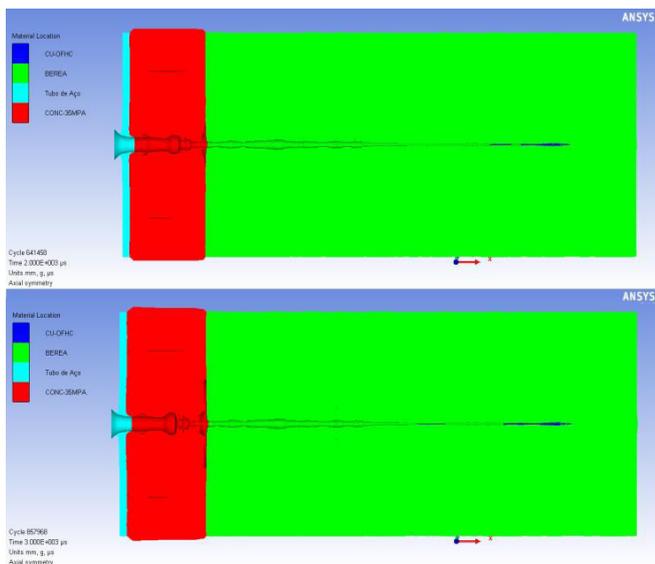
**Tab 7:** Valores de penetração entre os tempos de 2000μs e 3000μs no arenito Berea.

Tempo (μs)	Penetração (mm)	Penetração (in)
2000	339,52	13,36
3000	339,8	13,38

Os picos de pressão para cada alvo estão em instante de tempo diferentes. Os picos ocorrem quando o jato inicia a perfuração no alvo. Pode-se observar os picos de pressão ao longo tempo na Fig. 9. A Tab. 8 contém os valores dos picos de pressão com cada material e seu respectivo tempo.



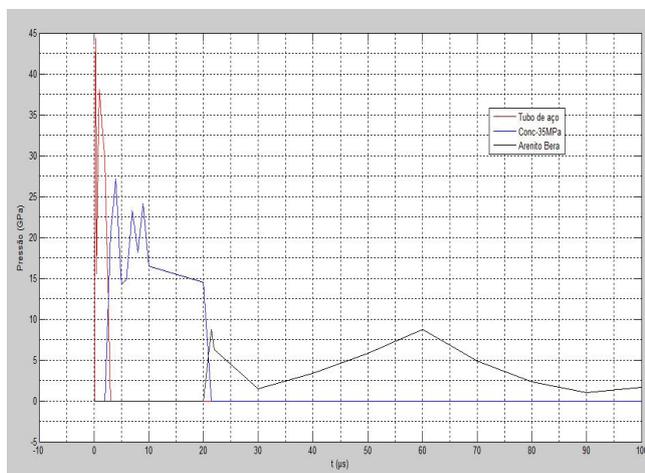
**Fig 7:** Colisão do jato em cada alvo nos tempos 0,2003 μs , 2,80 μs e 21,40 μs na malha Lagrangeana



**Fig 8:** Localização do jato nos tempo de 2000  $\mu$ s (acima) e 3000  $\mu$ s (abaixo) na malha Lagrangeana.

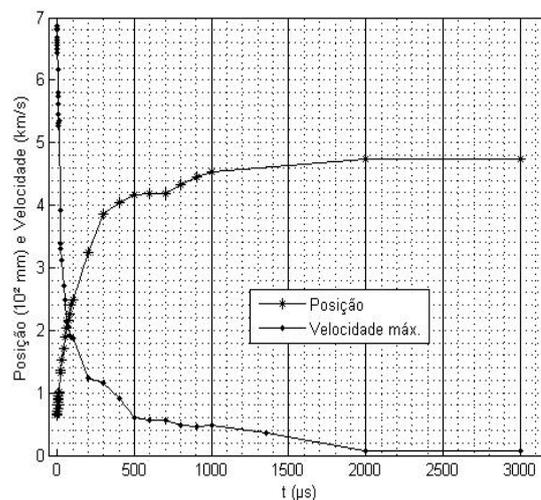
**Tab 8:** Valores máximos de pressão encontrados nos alvos nos respectivos tempos.

Alvos	Pressão máxima (GPa)	Tempo ( $\mu$ s)
Tubo de serviço A25 PSL1 F	44,247	0,304
Coluna de Cimentação	27,09	4
Arenito Berea	8,868	60



**Fig 9:** Pressões dos alvos entre os tempos 0 e 100  $\mu$ s na malha Lagrangeana.

A Fig. 10 contém a posição do jato em cada instante de tempo. Pode-se verificar que a partir do instante 2000  $\mu$ s a posição não se altera muito até 3000  $\mu$ s. Isto se dá por conta da resistência do material que atenua a velocidade, como é verificado na Tab. 7 e Fig. 8, onde o valor da velocidade vai decrescendo. A Fig. 10 também contém as velocidades máximas encontradas no jato de 0 até 3000  $\mu$ s. Depois do tempo de 2000  $\mu$ s não há uma significativa variação da velocidade, assim como a posição do jato. A velocidade que aparece depois de 2000  $\mu$ s no gráfico é a velocidade máxima que jato se acumula no fundo do túnel perfurado.



**Fig 10:** Posição e velocidades máximas do jato entre os tempos 0 e 3000  $\mu$ s na malha Lagrangeana.

A Tab. 9 contém os valores dos picos de pressão em cada tempo que ocorre com impacto em cada material.

**Tab 9:** Valores das pressões máximas do jato nos tempos do impacto em cada alvo.

Alvos Impactados	Tempo ( $\mu$ s)	Pressão máxima (GPa)
Tubo de serviço A25 PSL1 F	0,2003	136,2
Coluna de Cimentação	33,107	2,8
Arenito Berea	5,449	21,4

A Tab. 10 contém os valores máximos de pressão encontrados no jato e o tempo em que eles se encontram.

**Tab 10:** Valores máximos de pressão, velocidade e posição encontrados no jato e seus respectivos tempos em relação a malha Lagrangeana.

Propriedades	Valores	Tempo ( $\mu$ s)
Pressão máxima	136,2GPa	0,2003
Velocidade máxima	6815 m/s	0
Posição Máxima	474,4 mm	3000

## 7. CONCLUSÕES

Os resultados na primeira simulação com a malha Euleriana permitiram verificar como ocorre a passagem da onda de choque e o que acontece com o revestimento que recebe o impacto da onda. Os resultados de pressões e velocidades tanto do explosivo quanto do revestimento proporcionaram a visualização da formação do jato e o efeito da quantidade de explosivo em cada tempo de detonação. Os valores das tabelas para a simulação na malha Euleriana estão dentro do esperado, como é o caso do valor dado pela Tab. 3 com diferença percentual menor que 2%.

Os resultados obtidos na malha Lagrangeana proporcionaram uma melhor compreensão do impacto do jato com cada alvo e o tempo de penetração em cada um. Foi verificado o quanto o jato penetra estes alvos e o efeito da resistência do material quanto decresce o valor da velocidade e a taxa de penetração. Um dos aspectos físicos que pode ser apresentado é o afinamento e o acúmulo de jato no final do túnel.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bar, G., Fundamentals of Compressible Fluid Mechanics. Minneapolis. Versão 0.4.4.2 aka 0.4.4.1j. 2007.
- [2] Birkhoff, G., McDougall, D. P., Pugh, E. M. e Taylor, G.. Explosives with lined cavities, Journal of Applied Physics. Vol 19. p. 563-582. Junho de 1948.
- [3] Meyers, M. A.. Dynamic behavior of materials, John Wiley & sons, 1994. ISBN 0-471-58262-X.
- [4] Huang H., Jiao Q. J., Nie J. X. e Qin J. F.. Numerical Modeling of Underwater Explosion by One-Dimensional ANSYS-AUTODYN. Journal of Energetic Materials. Vol 28. 292-325. Julho 2011.
- [5] Santos, J. L.. Simulação De Ensaio Balístico Dop. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Instituto Militar de Engenharia. 2012.
- [6] Gürel, Eser. Modeling and Simulation of Shaped Charges. 2009, 150p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Middle East Technical University, 2009.
- [7] AUTODYN. Theory Manual, ANSYS-Century Dynamics, Rev.4.3, 2005.
- [8] ANSYS AUTODYN, Asset # 1 - 237221309
- [9] Hermann, W.. Constitutive equation for the dynamic compaction of ductile porous materials. Journal of Applied Physics. Vol 40. Pp2490-2499. Maio 1969.
- [10] ANSYS AUTODYN User's Manual. Theory Manual. Release 14.5. Out. 2012.
- [11] Von Mises, R. Mechanik der festen Körper im plastisch deformablen Zustand. Göttin. Nachr. Math. Phys., vol. 1, pp. 582-592. 1913.
- [12] Riedel W., Harwick W., White D.M., Clegg R. A., "Advanced Material Damage Models for Numerical Simulation Codes, Final Report", EMI-report No. 175/03. ESA Contract No. 12400/97/NL/PA(SC), CCN No. 2. 1999.
- [13] Elshenawy, T. Q., M.. Influences of target strength and confinement on the penetration depth of an oil well perforator. International Journal of Impact Engineering. 8 :pp. 130-137, 2012.
- [14] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Specification 5L: Specification for Line Pipe. ISO 3183. 2008.
- [15] Swift, R. P., Hagelberg C. R., Carney T. C., e Greening D.. Modeling Stress-Induced Damage from Impact Recovery Experiments. Proceedings of the ETCE/OMAE 2000 Joint Conference: Energy for the New Millennium. February 14-17, 2000, New Orleans, LA.
- [16] O'donnell, D. M. e Mckav M.W.. Calculation to support the design of a seismic source test. Technical Report. Defense Nuclear Agency. Virginia. EUA. 1995.
- [17] Van Den Abeele, K., Johnson, P. A.. Elastic pulsed wave propagation in media with second- or higher-order nonlinearity. Part II. Simulation of experimental measurements on Berea sandstone. Journal of the Acoustical Society of America. Volume 99. Issue 6. pp. 3346-3352. June 1996.
- [18] Sekine, T., Duffy, T. S.; Rubin, A. M., Anderson, W. W., Ahrens, T. J.. Shock compression and isentropic release of granite. Geophysical Journal International, vol. 120, issue 2, pp. 247-261. 1995.
- [19] Wang, H. F.. Theory of linear poroelasticity with applications to geomechanics and hydrogeology. Princeton University Press. 2000.
- [20] Busetti, S., Mish, K., Reches, Z.. Damage and plastic deformation of reservoir rocks -- Part 1. Damage fracturing. American Association of Petroleum Geologists Bulletin. v. 96, no. 9, p. 1687-1709. 2012.
- [21] CHEVRON TEXACO. Data sheet for concrete coating of line pipe. PPL-DS-4807 [online]. 2002. Disponível: <http://www.networkintl.com/contents/auction/QFPIRA000HBW/QFPIRA00LCPK/QFPIRA001RN1CONCRETE%20DATA%20SHEET.pdf> [capturado em 05 ago. 2014].

# Análise de cenário envolvendo incêndio em material radioativo orientado à resposta à emergência

Rodrigo Werner da Silva, Wilson Freitas Rebelo da Silva Junior, Edson Ramos de Andrade  
Instituto Militar de Engenharia (IME)  
Praça General Tibúrcio, 80, 22290-270,  
Praia Vermelha, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

**RESUMO:** O presente trabalho fundamenta-se no estudo de cenário envolvendo incêndio em irradiadores de sangue, tendo como base o HEMORIO, devido ao fato de se possuir tal equipamento e de situar-se em área densamente povoada. Usando cenário hipotético, tentou-se aproximar ao máximo de uma situação realista usando curvas de incêndio padronizadas que forneceram dados de entrada para o software HotSpot Health Physics code para estimar as doses equivalentes efetivas totais (TEDE) para a população afetada pela dispersão do radionuclídeo na atmosfera. Os resultados foram tratados e inseridos para a análise de riscos de indução de leucemia, tomando por base os relatórios sobre efeitos biológicos das radiações ionizantes (BEIR V e VII). Isso permitiu analisar as consequências de incêndio em irradiadores de sangue que façam uso de fontes de Cs-137 e auxiliar nas medidas de prevenção, mitigação, preparação e resposta, possibilitando a proteção das comunidades potencialmente em risco de desenvolvimento de câncer.

**PALAVRAS-CHAVE:** Incêndio em material radioativo, radiação ionizante, risco, leucemia.

**ABSTRACT:** This study was based on the evaluation of a scenario involving fire in blood irradiation equipment, taking as a basis the HEMORIO, due to owning such equipment and be situated in densely populated area. Although the scenario is hypothetical, there was an effort to approach to reality by considering standardized fire curves which provide input data to the HotSpot Software Health Physics to estimate the population's Total Effective Dose Equivalent (TEDE) due to atmospheric dispersion. The Results were also treated and inserted as input for risk evaluation of induction of leukemia by mathematical means based on reports of Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR V and VII) depending on the dose level. The study of the scenario allowed inferring the consequences of a fire in blood irradiators that use Cs-137 sources assisting in the prevention, mitigation, preparedness and response, enabling the protection of potentially at-risk communities.

**KEYWORDS:** Fire in radioactive material, ionizing radiation, risk, leukemia.

## 1. INTRODUÇÃO

O uso difuso da energia nuclear na Saúde por meio da Medicina proporciona uma tendência de concentração de equipamentos dotados de material radioativo em áreas urbanas densas onde se encontram vários hospitais e clínicas realizando procedimentos envolvendo tais materiais. Em caso de exposição a situações críticas de segurança, como um incêndio, tais equipamentos podem contribuir para considerável aumento dos índices de degradação ambiental, o que inclui a real possibilidade de exposição ao perigo não só de trabalhadores como também do público em geral. Um cenário desta natureza é crítico, intrincado e de difícil solução, podendo acarretar imensos prejuízos tanto sociais como econômicos (SANTOS, 2015) [1].

Desta forma, dispor de ferramentas metodológicas que permitam avaliar consequências resultantes das atividades humanas, de qualquer natureza, sobre os seres humanos e a biosfera, pode ser um caminho para a garantia da segurança e da manutenção da vida. Este desafio emerge não só das consequências dos efeitos radioativos sobre seres humanos e o espaço físico, mas também da ignorância sobre este tipo de urgência. A escolha do cenário para os estudos propostos no presente trabalho foi feita, tomando por base as pesquisas relativas ao material radioativo capazes de representar uma ameaça potencial em uma região densamente povoada no Estado do Rio de Janeiro.

De acordo com, Suzane de Alencar Vieira (VIEIRA, 2015), o acidente com o Cs-137 em Goiânia no ano de 1987 foi considerado o maior acidente radiológico em área urbana do mundo, de modo a provocar o medo de novas ocorrências, tornar os efeitos danosos conhecidos e aprofundar os estudos relativos à prevenção, preparação, mitigação e resposta. O Cs-137 encontra-se, dentre outras aplicações, em irradiadores de sangue, em atividades consideradas de interesse para

o presente estudo, cujas doses equivalentes efetivas totais (TEDE) geradas por sua queima podem ser estimadas, bem como os principais efeitos sobre uma população afetada [2].

O HEMORIO, local escolhido para o estudo, encontra-se situado na região central do município da Cidade do Rio de Janeiro. Destaca-se como um centro de referência em Hemoterapia, que apresenta, em seus protocolos, as indicações de dose de irradiação de 25 Gy em hemocomponentes irradiados para reduzir o risco de Doença do Enxerto Contra Hospedeiro (DECH) [3].

Embora sejam verificadas medidas de segurança previstas legalmente em âmbito nacional e, para os irradiadores de sangue, sejam equipamentos selados, o histórico de eventos adversos mostra que deve sempre haver a preocupação com a violação, intencional ou não de uma fonte e que as possibilidades devem ser aventadas, tais como um incêndio, que pode consumir uma fonte já violada ou não.

A importância das ações de prevenção, além da preservação de vidas e bens, está relacionada aos elevados esforços e custos inerentes à recuperação dos cenários. O estudo de cenário envolvendo incêndio em local contendo material radioativo permite, por meio da identificação dos possíveis riscos primários e secundários da combustão, sugerir efetiva orientação aos procedimentos a serem adotados por diversas agências normalmente envolvidas nas ações de prevenção, mitigação, preparação e resposta, identificando-se as ameaças e vulnerabilidades imediatas com efeito sobre futuros comprometimentos e fragilidades.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O critério de escolha da fonte tem amparo no TE-CD-1344 da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA, 2003), que trata da categorização de fontes radioativas e apresenta, no seu apêndice II, as fontes em seus relati-

vos usos, atividades e riscos atribuídos. Deste documento foi verificado que o Cs-137 é utilizado na irradiação de sangue, tem atividades entre 440 e 37 TBq, e classe de risco 1, no qual se observa a relação  $A/D \geq 1000$ , onde A é a atividade da fonte e D, o potencial de fontes para causar efeitos determinísticos, de modo que esse equipamento se apresenta de maneira satisfatória para as expectativas do presente estudo [4].

Devido à falta de acesso ao interior da edificação e à inviabilidade de inventariar os materiais que poderiam queimar, caso o ambiente em que se encontra o irradiador fosse incendiado, a carga incêndio foi calculada por meio da Instrução Técnica de número 15 do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo (CB/PMESP, 2015) que define um cenário típico para o tipo de edificação e atividade tratada neste trabalho [5].

Na ausência de dados que pudessem conferir maior realidade ao trabalho, as curvas padronizadas foram consideradas como a função temperatura da atmosfera do ambiente compartimentado, por meio das tabelas e gráficos de incêndio-padrão, de modelos idealizados para análises experimentais. Admitindo-se que a temperatura dos gases quentes no compartimento em chamas obedeça às curvas padronizadas, torna-se viável conhecer a evolução temporal do incêndio.

Os parâmetros relacionados às características locais da edificação e do local onde se encontra, da fonte e da queima do material foram inseridos no código *HotSpot*, que, como foi mencionado, apresenta um modelo conservativo para estimar a dose e a concentração de radionuclídeos como resultado da liberação de materiais radioativos (SHIN and KIM 2009; THIESSEN et al, 2009) [6].

Com o objetivo de aproximar um cenário realístico em uma situação de incêndio, compatível com as curvas obser-

vadas em um incêndio-padrão para materiais celulósicos, material predominante nos mobiliários e nas divisórias, foi adotado o tempo de 15 minutos, onde se observam em tais curvas, temperaturas superiores a 700°C, e nas quais a taxa de calor começa a diminuir. E então, com base nessas tabelas e gráficos, foram calculados os parâmetros relativos ao incêndio que alimentaram o código [7].

As tabelas extraídas das simulações do *HotSpot* permitiram estabelecer cenários críticos, tanto em relação aos níveis de doses observados, quanto no número de pessoas afetadas, viabilizando a análise de potenciais consequências e orientação da resposta à emergência. É possível também, utilizando as equações BEIR V e/ou VII, avaliar as probabilidades do desenvolvimento de câncer na população afetada, permitindo que os órgãos de saúde pública estabeleçam medidas que venham a minimizar essas consequências que podem ter impactos catastróficos na economia local no futuro quando se consideram os tratamentos e indenizações solicitadas por via judicial [8].

Com isso, foram calculados os excessos de risco relativos (ERR) e as probabilidades de causa (PC) para toda a população afetada e para ambos os sexos, conforme as equações mencionadas para idades da exposição menores que vinte anos e tempos de exposição abaixo de quinze anos, entre quinze e vinte cinco anos, e acima de vinte e cinco anos, e para idades de exposição superiores a vinte anos, e tempos de exposição menores que vinte e cinco anos, entre vinte e cinco anos e trinta anos, e acima de trinta anos. olhe a gravura aí embaixo:

Exposição pessoal do público ao risco de desenvolvimento de câncer



Fig 1: Resumo da metodologia utilizada.

DADOS SIMULAÇÃO HOTSPOT											
MATERIAL	MEIA VIDA	ATIVIDADE	TEMPO	TAXA DE CALOR	CALOR ESPECÍFICO	VOLUME	TEMPERATURA DO AR	VELOCIDADE	DENS. DEM. Z. NORTE (Hab/Km <sup>2</sup> )		
Cs137	30 ANOS	4,4E+14Bq	15MIN	2,6E+7Cal/s	4062 Cal/g	2710 gal	23°C	0,5m/s	10,185		
COMPARATIVO DE ALTURA											
ALTURA m	DMD (Km)	Max DETE (Sv)	INTERNA			MÉDIA			EXTERNA		
			DMD (Km)	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	Habitantes	DMD (Km)	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	Habitantes	DMD (Km)	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	Habitantes
10	0,01	674,00	0,56	0,058	590,73	0,71	0,09	916,65	5,10	2,30	23425,50
20	0,07	8,80	0,9	0,12	1222,20	1,2	0,2	2037,00	6,80	4,20	42777,00
30	0,15	2,50	1,1	0,16	1629,60	1,5	0,29	2953,65	9,50	7,50	76387,50
40	0,23	1,20	1,2	0,18	1833,30	1,7	0,35	3564,75	12,00	11,00	112035,00
50	0,30	0,65	1,3	0,18	1833,30	1,8	0,38	3870,30	15,00	15,00	152775,00
60	0,37	0,38	1,3	0,17	1731,45	1,9	0,39	3972,15	17,00	18,00	183330,00
70	0,47	0,25	1,3	0,14	1425,90	1,9	0,37	3768,45	18,00	21,00	213885,00
80	0,57	0,17	1,2	0,096	977,76	1,9	0,33	3361,05	20,00	24,00	244440,00
90	0,69	0,12	1,1	0,042	427,77	1,8	0,27	2749,95	21,00	26,00	264810,00
100	0,81	0,09	NÃO EXCEDIDO	NÃO EXCEDIDO	-----	1,7	0,2	2037,00	23,00	28,00	285180,00
120	1,00	0,06	NÃO EXCEDIDO	NÃO EXCEDIDO	-----	1,4	0,039	397,22	25,00	31,00	315735,00
150	1,40	0,03	NÃO EXCEDIDO	NÃO EXCEDIDO	-----	NÃO EXCEDIDO	NÃO EXCEDIDO	-----	27,00	34,00	346290,00
750	8,20	1,59E-03	NÃO EXCEDIDO	NÃO EXCEDIDO	-----	NÃO EXCEDIDO	NÃO EXCEDIDO	-----	21,00	12,00	122220,00
1000	9,90	1,21E-03	NÃO EXCEDIDO	NÃO EXCEDIDO	-----	NÃO EXCEDIDO	NÃO EXCEDIDO	-----	17,00	5,30	53980,50
LEGENDA	Sv	Ref.: Norma CNEN-NN-3.01.									
INTERNA	0,10	Área de controle operacional cujo limite de dose em situações de emergência para executar ações de prevenção de situações catastróficas é atingido.									
MÉDIA	0,05	Área de controle operacional cujo nível de ação para evacuação de população em situações de emergência é atingido.									
EXTERNA	0,001	Área de controle operacional cujo limite anual para público em situação em operação normal é atingido.									
DMD	DISTÂNCIA DA MÁXIMA DOSE - Distância em que se observa a maior dose.										
MAX DETE	MÁXIMA DOSE EQUIVALENTE TOTAL EFETIVA.										
NÃO EXCEDIDO	Indica que os limites de dose definidos para as condições de contorno não foram atingidos.										

Fig 2: Distribuição da dose em função da altura da dispersão atmosférica.

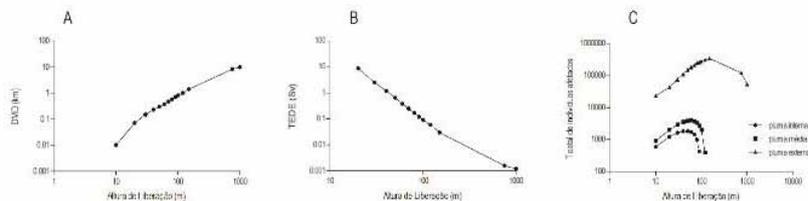


Fig. 3. (a) Máxima distância de dose em função da altura da dispersão atmosférica, (b) Dose equivalente total efetiva em função da altura da dispersão atmosférica e (c) Indivíduos afetados nas áreas de controle operacional interna, média e externa em função da altura da dispersão atmosférica.

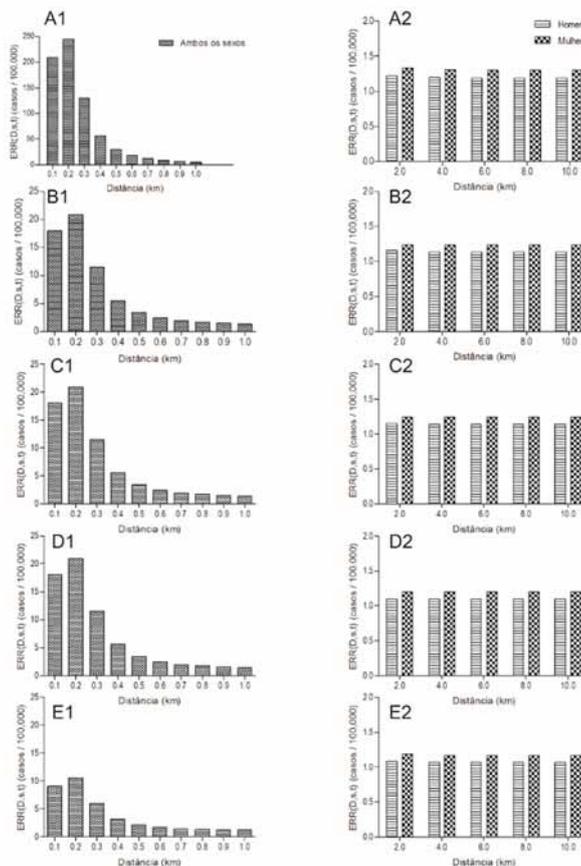


FIG. 4. Relação entre o excesso de risco relativo e a distância de máxima dose para homens e mulheres, tomando por base as variáveis a = Idade na exposição, T = tempo desde a exposição e para a radiação gama do Césio 137 e análise através do BEIR V ou VII: (A1) a<sub>≤20</sub>, T<sub>≤15</sub> e BEIR V, (A2) a<sub>≤20</sub>, T<sub>≤15</sub> e BEIR VII, (B1) a<sub>≤20</sub>, 15<T<sub>≤25</sub> e BEIR V, (B2) a<sub>≤20</sub>, 15<T<sub>≤25</sub> e BEIR VII, (C1) a<sub>≤20</sub>, T<sub>>25</sub> e BEIR V, (C2) a<sub>≤20</sub>, T<sub>>25</sub> e BEIR VII, (D1) a<sub>>20</sub>, T<sub>≤25</sub> e BEIR V, (D2) a<sub>>20</sub>, T<sub>≤25</sub> e BEIR VII, (E1) a<sub>>20</sub>, 25<T<sub>≤30</sub> e BEIR V, (E2) a<sub>>20</sub>, 25<T<sub>≤30</sub> e BEIR VII.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A população afetada nas áreas de controle operacional definidas a partir da Norma CNEN 3.01. [9] apresentou a mesma característica para as três condições de contorno, porém com valores distintos, sendo os números máximos de habitantes afetados encontrados nas áreas relativas às alturas de dispersão atmosféricas de 50, 60 e 150m para as áreas interna, média e externa respectivamente, conforme Fig. 2.

A partir das informações da tabela, foi possível verificar as tendências de distribuição das doses de radiação em função das alturas de dispersão atmosférica, onde se pode observar que as máximas distâncias de dose tendem a aumentar com a altura, conforme gráficos da Fig. 3.

Então, de posse desses dados, foi possível verificar, por meio do uso das equações do BEIR, os excessos de risco relativos, conforme Fig. 4.

Uma vez conhecidos os possíveis cenários desencadeados por um acidente e suas consequências, estimáveis a partir das tabelas e figuras até aqui apresentadas, pode-se, após a ocorrência de um acidente real, estimar os danos relacionados às máximas doses, máximas distâncias de dose, áreas atingidas por cada condição de contorno e a população afetada, podendo se identificar informações relevantes para tomadas de decisão, tais como:

- Alcance da pluma com dose de 1mSv em até 27Km, podendo chegar a expor mais 346.000 indivíduos ao limite de doses para público em situação operacional normal;
- Aproximadamente 3.900 indivíduos afetados por doses superiores a 50mSv, considerado o nível de ação para evacuação da população em situação de emergência;
- Cerca de 1.800 indivíduos afetados por doses superiores a 100mSv, considerado o limite de dose em situações de emergência para executar ações no intuito de prevenir o desenvolvimento de situações catastróficas;
- Excesso de Risco Relativo em até 15 indivíduos a 200m da fonte para doses agudas, mostrando a necessidade de preocupação com a população fixa do prédio e com os respondedores;
- Maior vulnerabilidade para indivíduos que receberem doses com idade inferior a 20 anos para doses agudas, favorecendo a composição de equipes de resposta compostas por indivíduos de idade mais elevada;
- Excesso de Risco Relativo em até 45 indivíduos para baixas doses, isto é, para a população fluminense;
- Maior vulnerabilidade para mulheres que receberem baixas doses.
- Os gráficos apresentados na FIG. 4. permitem também estudos para a redução de risco absoluto e análises estatísticas de números necessários a tratar, evitando-se o tratamento de toda a população e facilitando a triagem dos afetados além de servir de apoio à tomada de decisão, uma vez que lista possíveis cenários que podem ser comparados em uma situação de emergência real futura, bem como investigações de relação causal das eventuais enfermidades que afetem a população exposta.

### 4. CONCLUSÃO

Assim, com base no conhecimento dos riscos associados a um possível incêndio em irradiadores de sangue que façam uso de material radioativo, pode-se estimar previamente suas

consequências, de modo a permitir o devido planejamento de ações preventivas, preparatórias, mitigatórias e de resposta capazes de reduzir as consequências na população potencialmente afetada.

Em síntese, podem ser listados alguns procedimentos de auxílio à redução de riscos de desastres envolvendo incêndios em materiais radioativos:

- Conhecimento e identificação prévia dos riscos;
- Controle de acesso à fonte;
- Capacitação específica de profissionais que habitem edificações que possuam irradiadores, mesmo que suas atividades não sejam diretamente relacionadas aos mesmos, quanto às medidas preventivas;
- Uso de medidas de orientação de evacuação de público;
- Utilização de dispositivos fixos e portáteis de combate a incêndios para primeira resposta, evitando-se atingir a queima generalizada;
- Revisão de legislação relativa à prevenção e combate a incêndios, tratando especificamente de materiais radioativos;
- Criação de Planos Operacionais Padrão para operações integradas nas ações de combate a incêndios em materiais radioativos;
- Elaboração de planos de contingências específicos para a ameaça de incêndios em material radioativos; e
- Realização de simulados multiagências.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Santos. J. R; Qualharine. E. L.. Proteção contra incêndio em instalações nucleares - fator de integração da segurança. XII SIMPEP - Bauru, SP. 2005.
- [2] Vieira, Suzane de A.. Estudo sobre fatores causais, consequências e ações de resposta no acidente com Césio 137 em Goiânia/GO. Revista emergência. Edição 2/2015, novo Hamburgo-RS, p. 10, fev. 2015. Entrevista concedida a Josué dos Santos.
- [3] Instituto Estadual de Hematologia do Rio de Janeiro – Hemorio. Projeto de adequação do Hemocentro Público. Avaliação pós-ocupação, diagnóstico energético e etiquetagem do nível de eficiência energética. Brasília, 2012.
- [4] International Atomic Energy Agency-IAEA. Categorization of Radioactive Sources. IAEA –TECDOC –1344. 2003.
- [5] Corpo de Bombeiros – Polícia Militar do Estado de São Paulo (CB-PMESP). Controle de fumaça. Instrução Técnica do Corpo de Bombeiros. IT 15:04. São Paulo: Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública, 2004.
- [6] National Atmospheric Release Advisory Center-NARAC. Hotspot Health Physics Codes. Lawrence Livermore national laboratory livermore, CA, USA. 2013.
- [7] COSTA, C. N.; SILVA, V. P. Dimensionamento de estruturas de concreto armado em situação de incêndio. Métodos tabulares apresentados em normas internacionais. In: V Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto. Anais. São Paulo: EPUSP, 2003.
- [8] Biological Effects Of Ionizing Radiation V (Beir V). National Research Council, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Natl Acad. Press. Washington, DC. 1990.
- [9] Comissão Nacional de Energia Nuclear; Ministério da Ciência e Tecnologia. Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Norma CNEN-NN-3.01:2011. Rio de Janeiro: CNEN. Setembro de 2011.

# Detecção de comunidades baseada em informações contextuais em redes homogêneas com atributos

M. V. Dias<sup>a</sup>, P. A. Braza, E. B. Silva<sup>b</sup> e R. R. Goldschmidt<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>b</sup> Centro Federal de Educação Tecnológica,

Av. Maracanã, 229 - Maracanã, Rio de Janeiro - RJ, 20271-110  
Rio de Janeiro, Brasil

**RESUMO:** A detecção de comunidades é uma importante tarefa de análise de redes complexas que vem sendo estudada pela academia e pela indústria nos últimos anos. Trata-se de um problema de otimização que tenta identificar grupos (comunidades) de elementos altamente interligados em redes de grande porte. A maioria dos algoritmos projetados até o momento para resolver este problema concentra-se exclusivamente na topologia da rede de entrada, ignorando qualquer informação existente sobre o contexto da aplicação. Neste artigo, propõe-se uma abordagem de detecção de comunidades que leva em consideração tanto informações topológicas quanto informações contextuais da rede. Esta abordagem introduz o agrupamento de dados como uma etapa prévia ao processo de detecção de comunidades, a fim de identificar comunidades estruturalmente densas, coesas e possivelmente sobrepostas. O artigo apresenta resultados quantitativos e qualitativos obtidos em três redes de natureza distinta, ilustrando o potencial de aplicação da abordagem proposta nos cenários militar, civil e científico. Os experimentos realizados mostram que a combinação de informações contextuais e topológicas das redes pode levar a partições interessantes formando comunidades de conteúdo coeso e útil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Detecção de Comunidades, Agrupamento de Dados, Análise de Redes Complexas, Redes Homogêneas, Grafos com Atributos.

**ABSTRACT:** Community detection is an important network analysis task that has been studied by academy and industry. It is an optimization problem that tries to identify groups (communities) of highly interconnected nodes in a network. Most algorithms designed so far to solve this problem concentrate exclusively on the topological aspects of the input network, ignoring any existing information about the context of application. This article proposes a community detection approach that takes both topological and contextual information into consideration. This approach introduces data clustering as a pre-processing step for the community detection process in order to identify structurally dense, cohesive and possibly overlapping communities. The article also presents quantitative and qualitative results obtained in three networks of different nature illustrating the potential of application of the proposed approach in military, civil and scientific scenarios. Experiments show that the combination of contextual and topological information may lead to interesting partitions with cohesive and useful content communities.

**KEYWORDS:** Community Detection, Data Clustering, Complex Network Analysis, Homogeneous Network, Attributed Graphs.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, academia e indústria têm dedicado grande atenção à análise de redes complexas [1]. Uma rede complexa é um multigrafo<sup>1</sup> altamente interconectado, possivelmente contendo atributos<sup>2</sup>, onde um vértice (nó) representa um item da rede (por exemplo, pessoa, página da Web, produto, filme, foto, artigo, etc.) e uma aresta representa algum tipo de associação entre os itens correspondentes (por exemplo, amizade ou comunicação entre duas pessoas) [2]. O problema de detectar grupos de nós densamente interconectados é uma importante tarefa de análise de redes complexas conhecida como detecção de comunidades [3].

Inicialmente usada para identificar grupos de pessoas em redes sociais, a detecção de comunidades tem sido aplicada a uma ampla gama de áreas, desde então [4]. Por exemplo: (a) na Ciência da Web, para detectar clusters (grupos) de web sites interconectados [5], [6]; (b) em sistemas de recomendação, para aplicações de recuperação de informação e comércio eletrônico [7], [8], [9]; (c) em Biblioteconomia e Ciência da Informação, para a identificação e remoção de dados duplicados [10], [11]; (d) em Bioinformática, para identificar interações entre proteínas [12], [13]; (e) em aplicações de segurança como a descoberta de grupos virtuais de terroristas e criminosos ocultos em redes sociais [14].

Em essência, a detecção de comunidades é um problema

de otimização que tenta organizar os elementos em grupos (comunidades), de forma a maximizar o número de arestas em um mesmo grupo e minimizar a quantidade de arestas em grupos distintos [4]. No entanto, em muitas aplicações reais, a estrutura topológica do grafo e os dados contextuais podem ser importantes para encontrar comunidades estruturalmente densas e coesas [15] [16].

Para ilustrar essa hipótese, considere o exemplo de uma rede fictícia de coautoria de artigos científicos descrita na figura 1. Cada vértice representa um autor e cada aresta representa um artigo escrito em parceria pelos autores por ela conectados. Toda aresta tem um atributo com informações contextuais, ou seja, o conjunto de palavras-chave usadas para rotular o artigo. Do ponto de vista exclusivamente topológico, a detecção de comunidades possivelmente encontraria duas comunidades: uma com os vértices A, B, C e D; e outra com os vértices E, F e G. Ambas as comunidades seriam estruturalmente densas. Porém a primeira conteria autores de artigos envolvendo palavras-chave distintas, o que poderia representar interesses distintos. Por outro lado, se o processo de detecção da comunidade pudesse também levar em conta uma perspectiva contextual, poderia gerar três comunidades sobrepostas<sup>3</sup>, tais como {A, B, C}, {B, C, D} e {E, F, G}, que, além de estruturalmente densas, apresentariam uma coesão de conteúdo. Segundo esta divisão, mais refinada que a primeira, cada comunidade agruparia autores

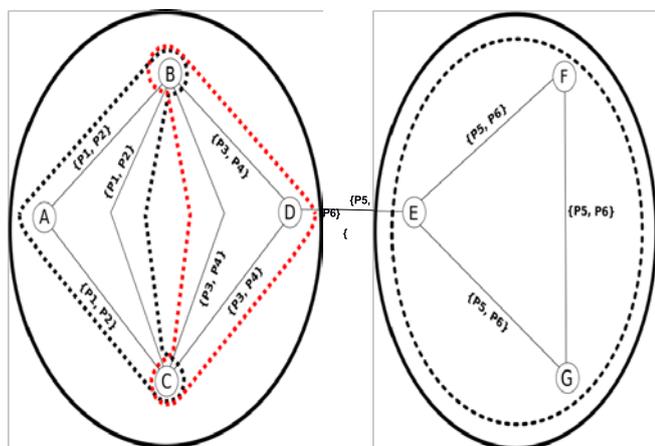
<sup>1</sup> Um multigrafo é um grafo onde dois nós podem ser conectados por múltiplas arestas.

<sup>2</sup> Um grafo com atributos se caracteriza por apresentar atributos em nós e/ou arestas. Em geral, atributos contêm informações sobre o contexto da aplicação. Por exemplo, palavras-chave e data de publicação de um artigo, gênero e renda de uma pessoa, preço de um produto, coordenadas geográficas, etc.

<sup>3</sup> Comunidades sobrepostas são aquelas que têm pelo menos um nó comum. Comunidades não sobrepostas são chamadas de comunidades disjuntas [5].

que escreveram artigos com palavras-chave comuns caracterizando, assim, uma maior coerência entre os assuntos de interesse dos elementos de cada grupo.

Diante do exposto, este artigo tem como objetivo propor uma abordagem de detecção de comunidades que leva em consideração tanto informações topológicas quanto informações contextuais. Chamada de ComDet, a abordagem proposta introduz o agrupamento de dados<sup>4</sup> como uma etapa prévia ao processo de detecção das comunidades a fim de identificar comunidades estruturalmente densas, de conteúdo coeso e possivelmente sobrepostas. O agrupamento de dados garante a coesão de conteúdo entre as informações dos vértices e das arestas de cada comunidade detectada. Nos experimentos, avaliações qualitativas e quantitativas com três redes reais mostram que a combinação de dados contextuais e topológicos pode levar a comunidades densas com conteúdos semelhantes dentro de cada uma. As redes escolhidas ilustram o potencial de aplicação da abordagem proposta nos cenários militar, civil e científico.



**Fig. 1** – Exemplo de comunidades detectadas em dois cenários. As linhas contínuas em negrito representam comunidades identificadas sob um ponto de vista exclusivamente topológico. As linhas tracejadas indicam comunidades detectadas diante da combinação dos pontos de vista topológico e contextual

Este texto contém outras cinco seções. A seção 2 resume os conceitos básicos em detecção de comunidades. Na Seção 3 são apresentados trabalhos relacionados à detecção de comunidades próximos à abordagem proposta neste artigo. O detalhamento da abordagem proposta encontra-se na seção 4. A Seção 5 expõe e comenta os resultados obtidos nos experimentos. Conclusões e trabalhos futuros encontram-se indicados na Seção 4.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção discute os conceitos relevantes para a compreensão deste trabalho, a saber, a detecção da comunidade e o agrupamento de dados. Também estão descritas algumas métricas de avaliação usadas nos experimentos.

### 2.1 Detecção de comunidades

Uma comunidade é definida como um conjunto de subgrupos coesos de elementos de um conjunto de dados [4]. A detecção de comunidades em redes complexas é a tarefa

de identificar grupos de vértices, na qual os vértices pertencentes a um grupo específico interagem uns com os outros com mais frequência do que com vértices que estão fora do grupo [17]. A maioria dos algoritmos clássicos na área de detecção de comunidades não usa informações do domínio de aplicação [18], [3], [19], [20], [21], que são importantes na identificação efetiva de grupos. Entre os principais algoritmos clássicos para detecção de comunidades estão o Girvan-Newman e o LouvainC.

O algoritmo de Girvan-Newman é um método hierárquico para detecção de comunidades em redes homogêneas<sup>4</sup> [22]. Esse método remove arestas gradativamente do grafo original  $G$ . A ordem de remoção dessas arestas segue o critério de centralidade por intermediação,  $\beta$ . Para qualquer aresta  $e \in E$ , considere que  $\beta(e)$  retorna o número de caminhos mais curtos entre o par de nós  $v$  e  $u \in V$  que contêm  $e$ . Ao passo que  $G$  é subdividido, a estrutura de suas comunidades são expostas. As etapas deste algoritmo são resumidas pelo seguinte algoritmo:

- 1)  $E \leftarrow G.E$
- 2) Para cada  $e \in E$ , calcule  $\beta(e)$ ;
- 3)  $e_{\max} \leftarrow \operatorname{argmax}_{e \in E} \beta(e)$ ;
- 4)  $E \leftarrow E - \{e_{\max}\}$
- 5) Para cada  $e \in E$  afetado pela remoção do  $e_{\max}$ , recalcule  $\beta(e)$ ;
- 6) Repita os passos 3 e 4 até  $E = \emptyset$ .

A execução do algoritmo acima produz gradualmente um *dendrograma*, uma árvore na qual a raiz representa todos os nós em  $G.V$ , e cada folha é um nó de  $G$ . As comunidades finais podem ser extraídas escolhendo um limiar de corte em alguma profundidade do *dendrograma*.

O algoritmo LouvainC [21] é um algoritmo de detecção de comunidade que lida com redes heterogêneas<sup>6</sup>. Este algoritmo usa o conceito chamado de modularidade composta a fim de avaliar a partição de uma rede heterogênea em comunidades. Dada uma rede heterogênea  $G$ , o LouvainC assume que  $G = G^{[1]} \cup G^{[2]} \cup \dots \cup G^{[s]}$ , onde cada  $G^{[y]}$  é uma sub-rede que consiste em arestas do mesmo tipo. Na primeira etapa, o algoritmo detecta comunidades em cada sub-rede separadamente. Assim, cada nó pode ser atribuído a diferentes comunidades de diferentes sub-redes. No segundo passo, o LouvainC combina as partições das sub-redes e obtém algumas constantes. Cada constante é associada a um conjunto de vértices que devem ficar juntos se esses forem atribuídos a uma mesma comunidade em cada partição. No terceiro passo, o algoritmo usa as constantes derivadas anteriormente para construir uma nova rede onde cada novo nó representa um grupo de nós que devem ser agrupados em conjunto. Dado dois nós  $u$  e  $v$  da nova rede, cada nova aresta representa o conjunto de arestas do gráfico original que conecta os nós representados por  $u$  e  $v$ . Então, o LouvainC otimiza a modularidade composta, que é descrita pela equação 1 ( $Q^{[y]}$  representa a modularidade em  $G^{[y]}$ ,  $m^{[y]}$  é o número de arestas em  $G^{[y]}$ ,  $m$  é o número total de arestas e  $L$  é a partição). O LouvainC não leva em consideração dados contextuais durante o processo.

$$Q(L) = \sum_{y=1}^s \frac{m^{[y]}}{m} Q^{[y]}(L) \quad (1)$$

<sup>4</sup> O agrupamento de dados é uma tarefa de mineração de dados que agrupa registros de dados de acordo com sua similaridade de conteúdo [3], [15].

<sup>5</sup> Redes que contêm apenas um tipo de nó e um tipo de aresta.

<sup>6</sup> Redes que contêm nós de vários tipos de nós e/ou conexões.

## 2.2 Algoritmos de agrupamento

O agrupamento de dados pode ser definido como um problema de otimização, no qual o objetivo é maximizar a similaridade intra-grupo e minimizar a similaridade intergrupos [22], [23], de acordo com um critério predeterminado. Abaixo encontra-se sumarizado o Affinity Propagation, o algoritmo de agrupamento de dados usado nos experimentos deste artigo.

O Affinity Propagation (AP) [24] é um algoritmo de agrupamento que se baseia na ideia de passar mensagens entre os pontos de dados. Considere um conjunto de elementos de um conjunto de dados  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ . Esse algoritmo toma como entrada uma matriz cujo elemento  $a(i, j)$  corresponde à similaridade entre os pontos  $x_i$  e  $x_j$ . A seguir, duas matrizes  $A$  e  $R$  são iterativamente atualizadas até a convergência. Na matriz de responsabilidades  $R$ , o elemento  $r(i, k)$  indica o quanto o elemento  $x_k$  é um representante adequado para o elemento  $x_i$  na matriz de disponibilidade  $A$ , o elemento  $s(i, k)$  indica o quão apropriado é o elemento  $x_k$  pode ser escolhido como representante do elemento  $x_i$ . A atualização dos elementos dessas matrizes é feita por meio de equações 2, 3 e 4, apresentadas a seguir.

$$r(i, k) \leftarrow s(i, k) - \max_{k \neq k'} \{a(i, k'), s(i, k')\} \quad (2)$$

$$a(i, k) \leftarrow \min \left\{ 0, r(k, k) + \sum_{i' \in \{i, k\}} \max_{k \neq k'} \{0, r(i', k)\} \right\} \quad (3)$$

$$a(k, k) \leftarrow \sum_{i \neq k} \max\{0, r(i', k)\} \quad (4)$$

Uma vez definidas as matrizes  $A$  e  $R$ , o algoritmo encontra os denominados exemplares, pontos para os quais o somatório da disponibilidade com a responsabilidade é um valor positivo. Esses exemplares definem os grupos identificados pelo AP: cada grupo é composto pelo seu exemplar correspondente e pelos pontos representados por este exemplar.

O AP difere dos algoritmos clássicos de agrupamento como o  $k$ -means e o  $k$ -medoids, uma vez que não requer que a quantidade de grupos a ser formada seja fornecida como entrada para a tarefa de agrupamento.

## 2.3 Métricas de avaliação

Neste artigo, foram utilizadas três métricas de avaliação nos experimentos, a saber, modularidade, densidade e informação mútua normalizada (NMI). Abaixo segue uma visão geral destas métricas.

Modularidade ( $M$ ) mede a qualidade de uma determinada partição de uma rede [25], [26]. Especificamente, é definida como a diferença entre dois valores. O primeiro corresponde à fração de arestas da rede que conecta vértices na mesma comunidade. O segundo é o valor esperado da fração de arestas em uma rede que conecta vértices dentro da mesma comunidade. Se o número de arestas dentro da comunidade não é melhor do que aleatório, então  $M = 0$ . Por outro lado, os valores de  $M$  aproximando-se de 1 indicam forte estrutura comunitária.

Densidade (ou densidade interna) pode ser definida como

o número de arestas,  $n_a$ , em uma rede complexa  $R$  dividida pelo total do número de arestas possíveis,  $n_T$ . O número total de arestas possíveis em uma rede  $R$  é obtido por  $n_T = (n \times (n-1))/2$ , onde  $n$  é o número de vértices em  $R$  [27].  $n_T$  está dividido por dois para evitar contar uma aresta duas vezes. Com isso, densidade de uma rede  $R$  pode ser definida pela equação 5.

$$\text{Densidade}(R) = \frac{n_a}{n_T} \quad (5)$$

A modularidade expressa como os nós das comunidades no conjunto de dados estão conectados. Por outro lado, a densidade indica a concentração das arestas nas comunidades detectadas. Os altos valores dessas métricas indicam que as comunidades detectadas concentram alto número de arestas em grupos de nós altamente interligados, ou seja, uma boa partição.

Seguindo a metodologia apresentada em [28], utiliza-se a medida de informação mútua (MI) para avaliar como dois agrupamentos  $C$  e  $C'$  são semelhantes ou diferentes. Esta medida encontra-se definida na equação 6, onde:  $p(C_i)$  (resp.  $p(C_i, C_j)$ ) corresponde à probabilidade marginal associada à comunidade  $C_i$  (resp. probabilidade conjunta associada às comunidades  $C_i$  e  $C_j$ ).

$$MI(C, C') = \sum_{C_i \in C, C_j \in C'} p(C_i, C_j) \times \log_2 \frac{p(C_i, C_j)}{p(C_i) \times p(C_j)} \quad (6)$$

A medida de informação mútua normalizada (NMI), versão normalizada da MI, varia entre 0 e 1, e quanto maior o seu valor, mais os dois agrupamentos  $C$  e  $C'$  são semelhantes.

## 3. TRABALHOS RELACIONADOS

Vários algoritmos foram desenvolvidos para resolver o problema de detecção da comunidades [25], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [21], [36], [37], [38], [39], [40], [41], [42], [43], [44], [45], [16], [46], [47]. A maioria deles se concentra exclusivamente nos aspectos topológicos da rede e tenta maximizar o número de conexões em cada comunidade e minimizar o número de conexões entre diferentes comunidades. No entanto, algumas dessas iniciativas se concentram no uso de agrupamento de dados para detectar comunidades em redes complexas e estão intimamente relacionadas com a abordagem proposta. Por exemplo:

- [16] divide o grafo em  $k$  grupos, de modo que cada grupo contenha um subgrafo densamente conectado. Os autores consideram que os vértices pertencentes a um dado grupo possuem valores de atributos, isto é, há informações de domínio associadas a cada vértice. Diferente do presente trabalho, a proposta feita em [16] não é capaz de encontrar comunidades sobrepostas. Trata-se de uma limitação importante, uma vez que diferentes vértices podem pertencer a diferentes comunidades. Por exemplo, uma mesma pessoa pode pertencer a mais de uma comunidade.
- Em [38], os autores procuram detectar comunidades adicionando um vértice à comunidade se seus atributos apresentarem uma boa similaridade com os atributos dos membros já existentes na comunidade, levando em conta também a sua conectividade. De forma análoga a [16], esse trabalho também não detecta comunidades sobrepostas. Além disso, o usuário precisa informar as comunidades anteriormente existentes no conjunto de dados.

- [47] propõe RM-CRAG, um algoritmo de agrupamento de grafos com atributos. Para um valor  $k$  dado pelo usuário, o RM-CRAG gera os top- $k$  agrupamentos (possivelmente sobrepostos), nos quais esses agrupamentos são distintos uns dos outros (não redundantes). RM-CRAG não trata de atributos nas arestas, diferentemente da abordagem proposta pelo presente artigo. Esta é uma limitação importante, pois, de forma similar ao exemplo da figura 1, muitas redes contêm atributos sobre a aplicação vinculados às arestas.

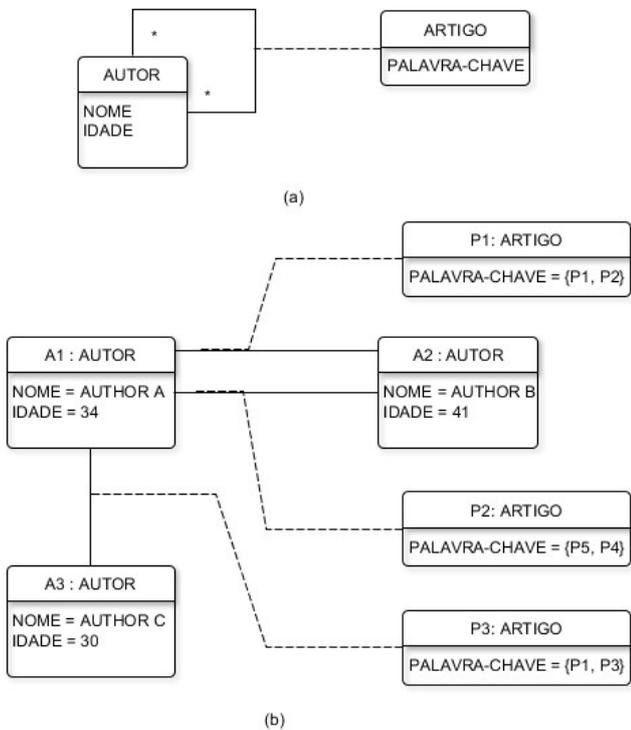
#### 4. ABORDAGEM PROPOSTA

Esta seção descreve conceitualmente os passos da abordagem proposta (ComDet) e resume as principais características do protótipo implementado.

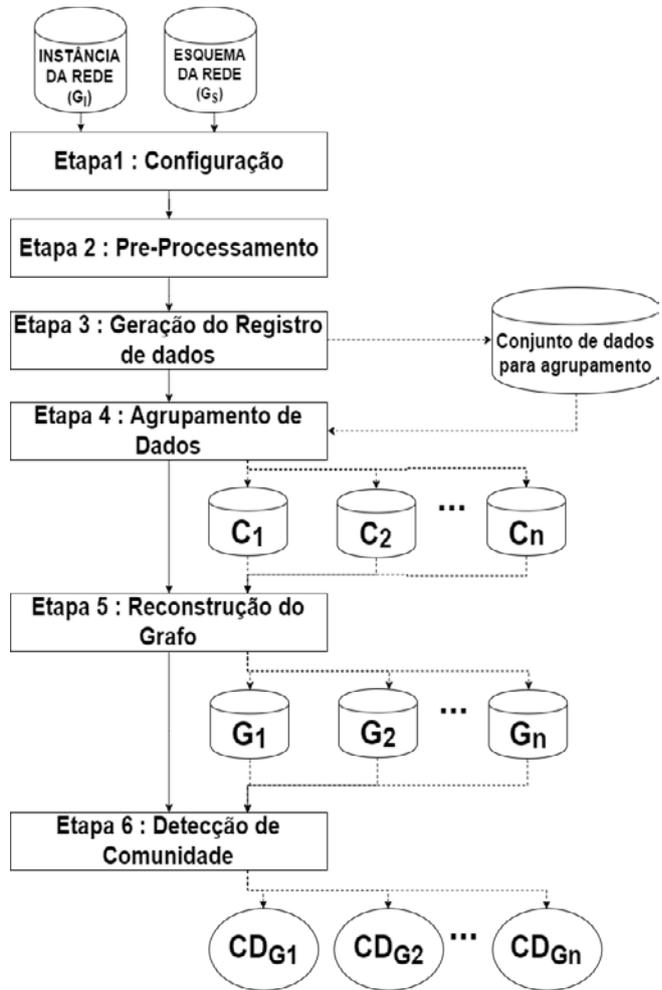
##### 4.1 Descrição conceitual

Toda rede fornecida como entrada para a ComDet deve ser um multigrafo homogêneo com atributos, representado por sua instância e seu esquema. Enquanto o esquema da rede contém meta-dados que indicam os tipos de vértice e de aresta e os atributos contidos no grafo, a instância de rede contém os dados em si. As Figuras 2(a) e 2(b) ilustram, respectivamente, o esquema e a instância de uma rede hipotética de coautoria de publicações. Neste trabalho, foram adotados os diagramas de classe e objeto da UML<sup>7</sup> para representar o esquema e a instância das redes, respectivamente.

Conceitualmente, a abordagem proposta possui seis etapas principais que estão representadas graficamente na figura 3 e descritas a seguir.



**Fig. 2** – Representações de Rede – Exemplo de uma rede de coautoria de publicações: (a) Esquema - Diagrama de Classe; (b) Instância - Diagrama de Objetos.



**Fig. 3** – Etapas do ComDet: Visão Geral do Processo.

- **Configuração** - Esta etapa permite ao usuário escolher quais atributos devem ser considerados pelo processo de agrupamento. Cabe ressaltar que tal escolha tem influência direta no conteúdo das comunidades que são identificadas durante o processo. Depende, portanto, dos interesses do domínio da aplicação.
- **Pré-Processamento** - Esta etapa compreende diversas atividades de preparação de dados feitas antes do processo de agrupamento e que podem incluir, por exemplo, a normalização e a codificação de dados da rede.
- **Geração do Registro de Dados** - Esta etapa converte a representação de grafo em uma estrutura relacional. Cada par (vértice  $v$ , aresta  $a$ ) é convertido em um registro de dados que contém os atributos tanto de  $v$  quanto de  $a$  que tenham sido escolhidos pelo usuário na etapa de Configuração. A Tabela 1 ilustra o efeito desta conversão aplicada ao exemplo da Figura 2(b). Considere que os atributos escolhidos na primeira etapa tenham sido idade e palavras-chave.
- **Agrupamento de Dados** - Esta etapa é responsável por separar os registros de dados em grupos de registros similares  $c_i$ . O resultado desta etapa é uma coleção de grupos  $\{c_i\}$ . Embora qualquer algoritmo de agrupamento possa, em princípio, ser aplicado aqui, foi utilizado o algoritmo Affinity Propagation (seção 2.1).
- **Reconstrução do Grafo** - Para cada grupo  $c_i$  identificado na etapa anterior, esta etapa restaura as conexões entre todos os pares de nós de  $c_i$  que existem no grafo original. Assim, o grafo resultante  $G_i$  é um subgrafo da rede original que

<sup>7</sup> Unified Modeling Language.

compreende vértices e arestas com atributos que compartilham conteúdos semelhantes.

- **Detecção de Comunidade** - Esta etapa é aplicada a cada grafo reconstruído  $G_i$  a fim de identificar subgrafos  $G_{ij}$  fortemente conectados (comunidades detectadas em  $G_i$ ). Na figura 3,  $CD_{G_i}$  denota o conjunto de  $G_{ij}$  de  $G_i$ . Cabe ressaltar que  $CD_G$  corresponde à partição identificada pela ComDet, onde  $CD_G = CD_{G_1} \cup \dots \cup CD_{G_n}$ . De forma análoga ao descrito em relação à etapa de agrupamento de dados, qualquer algoritmo de detecção de comunidades pode ser aplicado neste ponto. A escolha de qual algoritmo deverá ser aplicado cabe ao analista de dados responsável.

**Tabela 1:** Resultado da etapa de geração de registros de dados aplicada sobre o exemplo da figura 2, considerando que os atributos escolhidos tenham sido idade e palavras-chave

Record Id	Idade	Palavra-Chave
1	34	{P1, P2}
2	41	{P1, P2}
3	34	{P3, P4}
4	41	{P3, P4}
5	34	{P1, P3}
6	30	{P1, P3}

## 4.2 Protótipo

O protótipo da ComDet foi codificado em Python<sup>8</sup>. Foram utilizadas as APIs do Scikit-Learn [48] e NetworkX [49] para desenvolver os módulos de aprendizado de máquina e de acesso às estruturas de grafos, respectivamente. Os grafos instância e esquema foram codificados em um formato XML<sup>9</sup> específico chamado DyNetML [50].

Os algoritmos de agrupamento de dados e de detecção de comunidades adotados foram o Affinity Propagation [24] e Girvan-Newman [3], respectivamente. A escolha desses algoritmos foi devido ao fato de que eles não exigem que o usuário informe a quantidade de grupos / comunidades como entrada.

## 5. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Inicialmente, esta seção descreve o método utilizado para avaliar o desempenho da ComDet. Descreve também as redes utilizadas nos experimentos e os resultados obtidos em cada caso.

### 5.1 Processo de validação

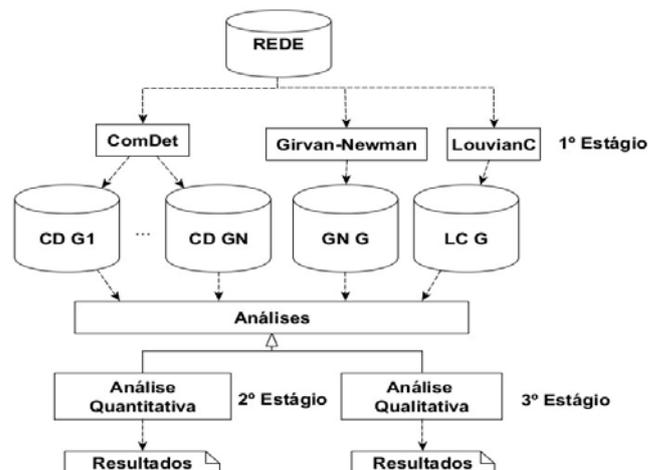
O processo de avaliação comparou os resultados da ComDet com os resultados obtidos por outros dois algoritmos: Girvan-Newman [3] e LouvainC [21]. Como exposto na Seção 2, o primeiro é um algoritmo de detecção de comunidade que se baseia unicamente na topologia da rede. O segundo é um algoritmo de detecção de comunidades que utiliza como base informações disponíveis sobre o contexto da aplicação. A Figura 4 descreve o processo de avaliação adotado.

Na primeira etapa, cada rede foi submetida aos três algoritmos e cada um deles detectou comunidades. Girvan-Newman e LouvainC geraram um conjunto de comunidades cada

(chamado  $GN_G$  e  $LC_G$ , respectivamente). A ComDet também gerou um conjunto de comunidades, chamado  $CD_G$ , onde  $CD_G = CD_{G_1} \cup \dots \cup CD_{G_n}$ .

Essas comunidades foram processadas na segunda etapa para uma análise quantitativa. Esta etapa calculou três métricas de avaliação: modularidade, densidade e informação mútua normalizada (NMI). As duas primeiras foram aplicadas separadamente à cada conjunto de comunidades gerado pelos três algoritmos. A modularidade expressa como os vértices das comunidades do conjunto estavam conectados e a densidade indica a concentração de arestas nas comunidades detectadas. Valores elevados dessas métricas indicam que as comunidades detectadas concentram um número elevado de arestas em grupos de vértices altamente interligados, isto é, em termos topológicos, uma boa partição. Por outro lado, a NMI expressa similaridade entre dois conjuntos de comunidades. Tal métrica foi útil para mensurar o quanto as comunidades detectadas pela ComDet foram distintas em relação às comunidades identificadas pelos outros dois algoritmos. Os valores de NMI entre dois conjuntos de comunidades variam de 0 (sem similaridade) a 1 (correlação perfeita). Cabe destacar que a NMI entre os conjuntos de comunidades geradas pelo Girvan-Newman e pelo LouvainC não foi calculada, uma vez que os experimentos não tinham como objetivo comparar os dois algoritmos entre si.

A terceira etapa compreendeu uma análise qualitativa das comunidades detectadas. Foi realizada por um usuário que pesquisou padrões que representavam algum tipo de coerência entre os dados agrupados em cada comunidade.



**Fig. 4 –** Visão Geral do Processo de Avaliação e Comparação dos Resultados.

### 5.2 Redes

A fim de ilustrar a dualidade de aplicação da abordagem proposta, foram selecionadas três redes para realizar os experimentos, sendo uma de natureza militar, uma pertencente ao contexto científico e a terceira originada em um cenário civil. As três encontram-se disponíveis na web para *download*:

- **Militarized Interstate Dispute (MID)** - Este conjunto de dados contém informações sobre conflitos entre vários países que ocorreram de 1816 a 2010 [51]. O esquema simplificado do MID é apresentado na Figura 5.
- **ArXiv** - É um repositório de artigos científicos de várias

<sup>8</sup> eu código está disponível para download em <https://goo.gl/Rfuwrf>.

<sup>9</sup> <https://www.w3.org/XML/>

áreas de conhecimento e que podem ser acessados online<sup>1</sup>. Tal repositório inclui informações sobre coautoria e palavras-chave de artigos (ver esquema da rede ArXiv na Figura 6). Nos experimentos foram considerados autores e artigos publicados de 1994 a 1997 em cinco seções de Física: astrofísica, matéria condensada, relatividade geral e cosmologia quântica, física de alta energia fenomenologia e física de alta energia - teoria.

- Enron Email Dataset (Enron) - Este conjunto de dados contém e-mails gerados pelos funcionários da Enron Corporation e adquiridos durante a investigação após o colapso da empresa [52]. Os dados contextuais disponíveis neste conjunto de dados estão no formato textual. A Figura 7 apresenta o esquema da Enron.
- A tabela 2 fornece algumas informações estatísticas sobre esses conjuntos de dados.

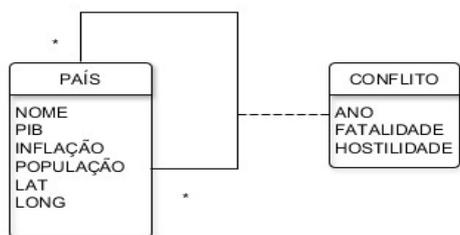


Fig. 5 – Esquema do conjunto de dados MID.

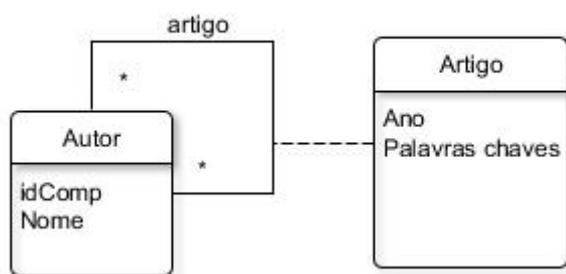


Fig. 6 – Esquema do conjunto de dados ArXiv.

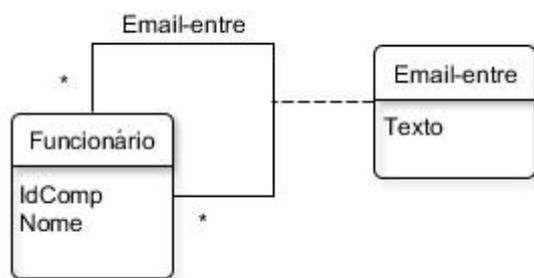


Fig. 7 – Esquema do conjunto de dados Enron.

Tab 2: Estatísticas sobre os conjuntos de dados utilizados nos experimentos

Conjunto de Dados	Nós	Atestas	Coefficiente de agrupamento
MID	2.779	16.544	0,644
ArXiv	902	8.422	0,521
Enron	158	7.139	0,493

### 5.3 Experimento 1: rede MID

Neste experimento, a ComDet foi configurada para con-

siderar três atributos contextuais: latitude, longitude e o número de mortes (fatalidade). Na etapa de pré-processamento, esses atributos foram normalizados.

A Figura 8(a) apresenta os resultados quantitativos obtidos pela ComDet ( $CD_G$ ), pelo Girvan-Newman ( $GN_G$ ) e pelo LouvainC ( $LC_G$ ) no experimento com a rede MID. O conjunto de comunidades identificado pela ComDet apresentou uma modularidade superior às dos conjuntos identificados pelos outros algoritmos. As comunidades identificadas pela ComDet apresentaram uma densidade superior às das identificadas pelo algoritmo Girvan-Newman e bem próxima das obtidas pelo algoritmo LouvainC. Tais fatos são evidências de que a ComDet foi capaz de identificar melhores partições do que os dois algoritmos de base estritamente topológica. Os valores médios de NMI próximos de 0,7 e 0,45 mostram que as comunidades detectadas pela ComDet foram bem diferentes das detectadas pelo Girvan-Newman e pelo LouvainC. Isso significa que os atributos contextuais considerados pela abordagem proposta influenciaram o processo de detecção e levaram a comunidades estruturalmente distintas das detectadas pelos algoritmos exclusivamente baseados em topologia.

Do ponto de vista qualitativo, os algoritmos Girvan-Newman e LouvainC identificaram comunidades disjuntas e que incluíram países de continentes diferentes. Por exemplo, ambos colocaram os EUA em comunidades com a Turquia e a Grécia, e com o Irã e o Iraque. Por outro lado, as comunidades detectadas pela ComDet dividiram os países de acordo com seu continente (ou seja, países geograficamente próximos). Consequentemente, nos resultados obtidos com a abordagem proposta, os EUA só apareceram em comunidades de países do continente americano. Claramente, esses resultados foram influenciados pelos atributos contextuais de latitude e longitude usados pela ComDet no experimento.

### 1. 5.4 Experimento 2: rede arXiv

Neste experimento, foram usadas as palavras-chave dos artigos como informações contextuais. Com tais dados, foram construídas: primeiro, uma matriz TF-IDF associando artigos com palavras-chave e, em seguida, uma matriz de similaridade (entre os artigos). Essa última foi a entrada para a etapa de agrupamento de dados.

Conjunto	Densidade	Modularidade	NMI $GN_G$	NMI $LC_G$
$CD_G$	0,42	0,26	0,70	0,45
$GN_G$	0,19	0,11	1,00	–
$LC_G$	0,45	0,15	–	1,00

Conjunto	Densidade	Modularidade	NMI $GN_G$	NMI $LC_G$
$CD_G$	0,80	0,85	0,93	0,93
$GN_G$	0,82	0,90	1,00	–
$LC_G$	0,83	0,91	–	1,00

Conjunto	Densidade	Modularidade	NMI $GN_G$	NMI $LC_G$
$CD_G$	0,37	0,59	0,53	0,63
$GN_G$	0,47	0,32	1,00	–
$LC_G$	0,45	0,64	–	1,00

Fig. 8 – Resumo dos resultados quantitativos dos experimentos nas redes: (a) MID; (b) ArXiv; e (c) Enron.

1 <http://export.arxiv.org/>

Sob o ponto de vista quantitativo, os resultados produzidos pela ComDet ficaram bem próximos aos produzidos pelos outros dois algoritmos, conforme mostra a Figura 8(b). No entanto, cabe chamar a atenção para um dos conjuntos produzidos pela ComDet ( $CD_{G9}$ ). Ele foi o que apresentou menor valor de NMI (0,92) e maiores valores de densidade (0,88) e modularidade (0,96). Ou seja, retratou uma boa partição do ponto de vista topológico, além de uma maior dissimilaridade em relação aos conjuntos identificados pelos algoritmos baseados exclusivamente em topologia.

Ao analisar esse mesmo conjunto de comunidades sob uma perspectiva qualitativa, é possível observar que a ComDet foi capaz de identificar comunidades de autores que, além de possuírem interesses (palavras-chave) comuns, também publicaram artigos em coautoria. Como artigos de áreas comuns normalmente compartilham palavras-chave comuns, o processamento da ComDet foi certamente influenciado pelo uso das palavras-chave como atributos contextuais.

## 5.5 Experimento 2: rede ENRON

Neste experimento, a ComDet foi configurada para considerar as informações textuais disponíveis no conteúdo dos e-mails. O pré-processamento de tais conteúdos exigiu *tokenização*, remoção de palavras de parada (*stopwords*) e identificação de radicais [53]. Subsequentemente, matrizes de TF-IDF e de similaridade foram construídas e utilizadas pela ComDet.

Em termos quantitativos, a ComDet detectou um conjunto de comunidades, com densidade e modularidade próximas das apresentadas pelos conjuntos de comunidades identificados pelo Girvan-Newman e pelo LouvainC. Entretanto, baixos valores de NMI mostram que as comunidades detectadas pela ComDet foram diferentes das detectadas pelos outros algoritmos.

Da mesma forma que nos demais experimentos, os atributos contextuais considerados pela abordagem proposta influenciaram o processo e levaram a comunidades estruturalmente distintas das detectadas pelos algoritmos exclusivamente baseados em topologia. Isso pode ser ilustrado, sob o ponto de vista qualitativo, pelas nuvens de palavras das Figuras 9, 10 e 11. Cada uma delas foi extraída de uma comunidade identificada pela ComDet. Cada comunidade apresentou uma temática (interesse) predominante no grupo, porém distinta das temáticas dos demais grupos. Palavras como *comission*, *market*, *price*, *rate*, entre outras presentes na Figura 9 são comuns e frequentes nas discussões de negociações e finanças. A figura 10 mostra termos usuais entre pessoas do setor de Tecnologia da Informação (TI) como *data*, *system*, *group*, *offsite*, *video*, *information*, *identity*, entre outras. Da mesma forma, a Figura 11 indica termos frequentes típicos de setores de logística onde as preocupações com datas e prazos são críticas. Por exemplo: *Nov*, *Jan*, *Feb*, *Oct*, *Dec* (menção aos meses do ano), *confirmations*, *management*, *state*, entre outras.



Fig. 9 – Nuvem de palavras extraída de uma comunidade detectada pela ComDet na Rede Enron: negociações e discussões financeiras.

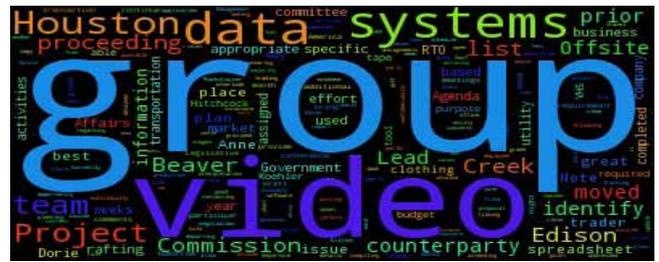


Fig. 10 – Nuvem de palavras extraída de uma comunidade detectada pela ComDet na Rede Enron: problemas de TI.



Fig. 11 – Nuvem de palavras extraída de uma comunidade detectada pela ComDet na Rede Enron: logística, gerenciamento e prazos.

## 6 CONCLUSÃO

A detecção de comunidades é uma importante tarefa de análise de redes complexas que tem sido investigada nos últimos anos tanto pela academia quanto pela indústria. É um problema de otimização que tenta identificar grupos (comunidades) de nós altamente interligados nas redes. Vários algoritmos têm sido propostos para detectar comunidades. A maioria deles está restrita ao uso de informações topológicas. No entanto, apesar da reconhecida importância dos dados contextuais para o problema de detecção de comunidades, poucas iniciativas investigaram o uso desse tipo de informação para identificar grupos coesos de nós conectados que compartilhem conteúdos comuns.

Neste artigo, foi proposta uma abordagem de detecção de comunidades que leva em consideração tanto informações topológicas quanto contextuais. Esta abordagem introduz o agrupamento de dados como uma etapa de pré-processamento para o processo de detecção da comunidade a fim de identificar comunidades estruturalmente densas, coesas e possivelmente sobrepostas. Tal abordagem permite ao analista humano selecionar as informações de contexto consideradas relevantes sob a perspectiva da aplicação e que devem ser utilizadas no processo. Resultados quantitativos e qualitativos obtidos nos experimentos com três redes de diferentes cenários (militar, civil e científico) mostram que, de fato, a combinação de informações contextuais e topológicas pode levar a partições interessantes formadas por comunidades de conteúdo coeso, diferentemente das abordagens tradicionais cujo processo de detecção de comunidades é puramente topológico. Pelos experimentos realizados, foi possível também perceber a relação entre os atributos contextuais selecionados e o conteúdo das comunidades identificadas pela ComDet.

Como trabalho futuro, planeja-se estender a abordagem proposta para lidar com redes heterogêneas. Redes heterogêneas estão cada vez mais frequentes no dia a dia e se caracterizam por conter diferentes tipos de elementos e diferentes tipos de conexões entre eles. Também pretende-se aplicar a abordagem proposta no problema de predição de links. Tal problema consiste em procurar prever se elementos não conectados em uma rede se ligarão no futuro. Acredita-se que prever links a partir de comunidades coesas possa tornar o processo preditivo mais preciso. Além do exposto, novos experimentos aplicando a abordagem proposta em outras redes complexas também deverão ser executados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Wang, P., Xu, B., Wu, Y., and Zhou, X. (2015). Link prediction in social networks: the state-of-the-art. *SCIENCE CHINA Information Sciences*, 58(1):1–38.
- [2] Pecli, A., Giovanini, B., Pacheco, C. C., Moreira, C., Ferreira, F., Tosta, F., Tesolin, J., Dias, M. V., Filho, S., Cavalcanti, M. C., and Goldschmidt, R. (2015). Dimensionality Reduction for Supervised Learning in Link Prediction Problems. In Proceedings of the 17th International Conference on Enterprise Information Systems, pp. 295–302.
- [3] Girvan, M. and Newman, M. E. J. (2002). Community structure in social and biological networks. *PNAS*, 99(12), pp. 7821–7826.
- [4] Fortunato, S. and Darko, H. (2016). Community detection in networks: A user guide. *CoRR*, volume abs/1608.00163.
- [5] Adafre, S. F. and de Rijke, M. (2005). Discovering missing links in Wikipedia. In Proceedings of the 3rd international workshop on Link discovery, pp. 90–97. ACM.
- [6] Zhu, J., Hong, J., and Hughes, J. G. (2002). Using markov models for web site link prediction. In *HYPertext 2002, Proceedings of the 13th ACM Conference on Hypertext and Hypermedia, June 11-15, 2002, University of Maryland, College Park, MD, USA*, pp. 169–170.
- [7] Li, X. and Chen, H. (2009). Recommendation as link prediction: a graph kernel-based machine learning approach. In *Proceedings of the 2009 Joint International Conference on Digital Libraries, JCDL 2009, Austin, TX, USA, June 15-19, 2009*, pp. 213–216.
- [8] Liu, Y. and Kou, Z. (2007). Predicting who rated what in large-scale datasets. *SIGKDD Explorations*, 9(2), pp. 62–65.
- [9] Huang, Z., Li, X., and Chen, H. (2005). Link prediction approach to collaborative filtering. In *ACM/IEEE Joint Conference on Digital Libraries, JCDL 2005, Denver, CO, USA, June 7-11, 2005, Proceedings*, pp. 141–142.
- [10] Elmagarmid, A. K., Ipeirotis, P. G., and Verykios, V. S. (2007). Duplicate Record Detection: A Survey. *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, volume 19(1), pp. 1–16.
- [11] Malin, B., Airoldi, E., and Carley, K. M. (2005). A Network Analysis Model for Disambiguation of Names in Lists. *Computational & Mathematical Organization Theory*, 11(2), pp. 119–139.
- [12] Airoldi, E. M., Blei, D. M., Fienberg, S. E., Xing, E. P., and Jakkola, T. (2006). Mixed membership stochastic block models for relational data, with applications to protein-protein interactions. In *Proceedings of International Biometric Society-ENAR Annual Meetings*.
- [13] Freschi, V. (2009). A Graph-Based Semi-supervised Algorithm for Protein Function Prediction from Interaction Maps. In *Learning and Intelligent Optimization, Third International Conference, LION 3, Trento, Italy, January 14-18, 2009, Selected Papers*, pp. 249–258.
- [14] Krebs, V. E. (2002). Mapping Networks of Terrorist Cells. *Connections*, 24(3), pp. 43–52.
- [15] Guedes, G. P., Ogasawara, E., Bezerra, E., and Xexeo, G. (2016). Discovering top-k non-redundant clusterings in attributed graphs. *Neurocomputing*, 210:45 – 54. SI:Behavior Analysis In {SN}.
- [16] Zhou, Y., Cheng, H., and Yu, J. X. (2009). Graph clustering based on structural/attribute similarities. *PVLDB*, 2(1):718–729. 15 dez. de 2015.
- [17] Tang, L. and Liu, H. (2010). Community Detection and Mining in Social Media. *Synthesis Lectures on Data Mining and Knowledge Discovery*. 18 jun. de 2015.
- [18] Li, X. and Chen, H. (2009). Recommendation as link prediction: a graph kernel-based machine learning approach. In *Proceedings of the 2009 Joint International Conference on Digital Libraries, JCDL 2009, Austin, TX, USA, June 15-19, 2009*, pp. 213–216.
- [19] Goldberg, M. K., Kelley, S., Magdon-Ismael, M., Mertsalov, K., and Wallace, A. (2010). Finding Overlapping Communities in Social Networks. In Elmagarmid, A. K. and Agrawal, D., editors, *SocialCom/PASSAT*, pp. 104–113. IEEE Computer Society.
- [20] Naruchitparames, J., Gunes, M. H., and Louis, S. J. (2011). Friend recommendations in social networks using genetic algorithms and network topology. In *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, pp. 2207–2214. IEEE.
- [21] Liu, X., Liu, W., Murata, T., and Wakita, K. (2014). A Framework for Community Detection in Heterogeneous Multi-Relational Networks. *Advances in Complex Systems*, volume 17. 15 jan. de 2015.
- [22] Anderberg and Michael, R. (1973). Cluster Analysis for Applications. *Academic Press*, serie Probability and Mathematical Statistics.
- [23] Halkidi, M., Batistakis, Y., and Vazirgiannis, M. (2002). Clustering Validity Checking Methods: Part II. *SIGMOD Rec.*, 31(3):19–27. 01 set. de 2015.
- [24] Brusco, M. J. and Köhn, H. (2008). Clustering by Passing Messages Between Data Points. *Science*, volume 319, pp. 726–726. 31 nov. de 2015.
- [25] Naruchitparames, J., Gunes, M. H., and Louis, S. J. (2011). Friend recommendations in social networks using genetic algorithms and network topology. In *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, pp. 2207–2214. IEEE.
- [26] Newman, M. (2006). Modularity and community structure in networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(23):8577–8582.
- [27] Newman, M. E. J. and Girvan, M. (2004). Finding and evaluating community structure in networks. *Phys. Rev. E*, 69(2), pp. 026113.
- [28] Palmer, G., Dórazio, V., Kenwick, M., and Lane, M. (2015). The MID4 dataset, 2002–2010: Procedures, coding rules and description. *Conflict Management and Peace Science*, 32(2), pp. 222–242. 14 jun. de 2016.
- [29] Airoldi, E. M., Blei, D. M., Fienberg, S. E., Xing, E. P., and Jakkola, T. (2006). Mixed membership stochastic block models for relational data, with applications to protein-protein interactions. In *Proceedings of International Biometric Society-ENAR Annual Meetings*.
- [30] Yang, S. and Luo, S. (2009). Community detection based on adaptive kernel affinity propagation. *2009 2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology*, USA, Aug, pp. 1–4. IEEE.
- [31] Ding, F., Luo, Z., Shi, J., and Fang, X. (2010). Overlapping Community Detection by Kernel-Based Fuzzy Affinity Propagation *2010 2nd International Workshop on Intelligent Systems and Applications*, USA, May, pp. 1–4. IWISA.
- [32] Leskovec, J., Lang, K. J., and Mahoney, M. W. (2010). Empirical comparison of algorithms for network community detection. cite arxiv:1004.3539.
- [33] Chen, Y.-L., Chuang, C.-H., and Chiu, Y.-T. (2014). Community detection based on social interactions in a social network. *JASIST*, 65, 539–550.
- [34] Guo, K. and Zhang, Q. (2015). Detecting communities in social networks by local affinity propagation with grey relational analysis. *Grey Systems: T&A*, 5, 31–40.
- [35] Yizhou, Sun, Norick, Brandon, Han, Jiawei, Yan, Xifeng, Yu, S., P., and Yu, X. (2012). Integrating meta-path selection with user-guided object clustering in heterogeneous information networks. In Yang, Q., Agarwal, D., and Pei, J. (eds.), *KDD*, USA, 7, pp. 1348–1356. ACM. 19 maio de 2016.
- [36] Melamed, D. (2014). Community structures in bipartite networks: A dual-projection approach. *PLoS ONE*, 9, e97823. 10 mar. de 2015.
- [37] Meng, Q., Tafavogh, S., and Kennedy, P. (2014). Community detection on heterogeneous networks by multiple semantic-path clustering. *Computational Aspects of Social Networks (CASoN), 2014 6th International Conference on*, USA, July, pp. 7–12. CA-SoN.
- [38] Yang, T., Jin, R., Chi, Y., and Zhu, S. (2009). Combining link and content for community detection: a discriminative approach. *Proceedings of the 15th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, USA, 11, pp. 927–936. ACM SIGKDD.
- [39] Günnemann, S., Farber, I., Boden, B., and Seidl, T. (2010). Subspace Clustering Meets Dense Subgraph Mining: A Synthesis of Two Paradigms. In *Data Mining (ICDM), 2010 IEEE 10th International Conference on*, pp. 845–850.
- [40] Dang, T. A. and Viennet, E. (2012). Community Detection based on Structural and Attribute Similarities. *ICDS*, pp. 7–14. 10 mar. de 2015.
- [41] Akoglu, L., Tong, H., Meeder, B., and Faloutsos, C. (2012). PICS: Parameter-free Identification of Cohesive Subgroups in Large Attributed Graphs. *Proceedings of the 2012 SIAM International Conference on Data Mining*. SIAM, USA.
- [42] Ruan, Y., Fuhr, D., and Parthasarathy, S. (2012). Efficient Community Detection in Large Networks using Content and Links. *ArXiv e-prints*, 1, 1.
- [43] Ruan, Y., Fuhr, D., and Parthasarathy, S. (2013). Efficient community detection in large networks using content and links. *Proceedings of the 22nd international conference on World Wide*

Web, USA, 3, pp. 1089–1098. ACM ACM.

- [45] Leskovec, J., Lang, K. J., and Mahoney, M. W. (2010) Empirical comparison of algorithms for network community detection. cite arxiv:1004.3539.
- [46] Zhang, Y., Levina, E., and Zhu, J. (2015) Community Detection in Networks with Node Features. *ArXiv e-prints*, 1, 1.
- [47] LAI, D. and LU, H. (2008) IDENTIFICATION OF COMMUNITY STRUCTURE IN COMPLEX NETWORKS USING AFFINITY PROPAGATION CLUSTERING METHOD. *Modern Physics Letters B*, 22, 1547–1566.
- [48] Sachan, M., Contractor, D., Faruquie, T. A., and Subramaniam, L. V. (2012) Using content and interactions for discovering communities in social networks. In Mille, A., Gandon, F. L., Misselis, J., Rabinovich, M., and Staab, S. (eds.), *WWW, USA*, 8, pp. 331–340. ACM.
- [49] Guedes, G. P., Ogasawara, E., Bezerra, E., and Xexeo, G. (2015). Discovering top-k non-redundant clusterings in attributed graphs. *Programa de Engenharia de Sistemas e Computação/COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro*, 1:1.
- [50] Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., and B. Thirion, V. M., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., and Duchesnay, E. (2011). Scikit-learn: Machine Learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12:2825–2830.
- [51] Hagberg, A. A., Schult, D. A., and Swart, P. J. (2008). Exploring Network Structure, Dynamics, and Function using NetworkX. In *Proceedings of the 7th Python in Science Conference*, pp. 11–15.
- [52] M. Tsvetovat, J. Reminga, and K. M. Carley. (2004) DyNetML: Interchange Format for Rich Social Network Data. *SSRN Electronic Journal*, pp. 25.
- [53] Palmer, G., Dórazio, V., Kenwick, M., and Lane, M. (2015). The MID4 dataset, 2002–2010: Procedures, coding rules and description. *Conflict Management and Peace Science*, 32(2), pp. 222–242. 14 jun. de 2016.
- [54] Sun, J., Faloutsos, C., Papadimitriou, S., and Yu, P. S. (2007). GraphScope: Parameter-free Mining of Large Time-evolving Graphs. In *Proceedings of the 13th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, number 1 in KDD '07, pp. 687–696, New York, NY, USA. ACM. 15 jun. de 2016.
- [55] Porter, M. F. (2001). Snowball: A language for stemming algorithms. Published online. Accessed 11.03.2015, 15.00h.

# Reconhecimento de Expressões Faciais através de Redes Bayesianas

Eliaquim Monteiro Ramos<sup>1</sup>, Anderson Alvarenga Meneses<sup>2</sup>, Cleudilene Silva Rufino<sup>2</sup>,  
Matheus Aranha Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório Nacional de Computação Científica-LNCC  
Avenida Getúlio Vargas, 333 - Quitandinha, Petrópolis - Rio de Janeiro.

<sup>2</sup>Universidade Federal do Oeste do Pará-UFOPA  
Rua Vera Paz, Bairro Salé, Santarém – Pará.

**RESUMO:** O reconhecimento de expressões faciais tem sido alvo de pesquisas, devido ao seu potencial de aplicação. Vários trabalhos no estado da arte focam no desenvolvimento de sistemas computacionais para realizar o reconhecimento de expressões. No entanto, reconhecer expressões faciais através de sistemas é uma tarefa desafiadora, devido aos inúmeros fatores que afetam a eficiência dos sistemas constituídos basicamente das seguintes etapas: aquisição facial, extração de características e classificação. Este trabalho aborda apenas na última etapa, com o objetivo de classificar em função das Unidades de Ação as seis expressões faciais básicas (raiva, surpresa, tristeza, nojo, medo e alegria). Para alcançar o objetivo foram utilizadas as Redes Bayesianas e as Redes Neurais Artificiais do tipo Multilayer Perceptron. As Redes Bayesianas obtiveram no geral, uma média de acertos de 90.06%, enquanto que as Redes Neurais Artificiais apresentaram uma taxa média de 79.80%.

**PALAVRAS-CHAVE:** classificação, expressões faciais, reconhecimento de expressões.

**ABSTRACT:** The recognition of facial expressions has been the object of research, due to its application potential. Several works in the state of the art focus on the development of computational systems to perform the recognition of expressions. However, recognizing facial expressions through systems is a challenging task due to the numerous factors that affect the efficiency of the systems constituted basically of the following steps: facial acquisition, features extraction and classification. This work addresses only on the last stage with the objective of classify in function of the Action Units the six basic facial expressions (anger, surprise, sadness, disgust, fear and happiness). To achieve the goal were used the Bayesian Networks and the Artificial Neural Networks of the Multilayer Perceptron type. The Bayesian Networks obtained in general, an average of accuracies 90.06%, while the Artificial Neural Networks presented an average rate of 79.80%.

**KEYWORDS:** Classification, facial expressions, expressions recognition.

## 1. INTRODUÇÃO

As expressões faciais são mudanças na face, ocasionadas por contrações de músculos faciais, com duração de 250ms a 5s, que possibilitam demonstrar os estados emocionais, sendo responsáveis por 55% da comunicação realizada entre os seres humanos [1].

Os seres humanos conseguem reconhecer e distinguir expressões faciais, mesmo em ambientes com condições não favoráveis. Apesar de ser uma tarefa simples para o ser humano, o reconhecimento de expressões faciais através de sistemas computacionais é uma tarefa desafiadora, devido às dificuldades encontradas, que podem ser atribuídas às variáveis como a posição facial, iluminação do ambiente e alguns aspectos visuais como o uso de barba, cortes de cabelos e acessórios como óculos, maquiagem. Portanto, são fatores que influenciam no desempenho dos sistemas.

O reconhecimento de expressão facial é uma área que vem sendo amplamente explorada por pesquisadores no campo da Psicologia, Engenharia da Computação e Neurociências, devido ao seu grande número de aplicações, como por exemplo, na Interação Homem-Computador, que busca melhorar e evoluir a relação entre pessoas e computadores [2]. O reconhecimento de expressão refere-se a uma modalidade que tem como objetivo aumentar a familiaridade de comunicação com os usuários, fazendo com que estes interajam com um sistema computacional como se fosse uma interação entre pessoas [3].

Avanços em pesquisas relacionadas com a detecção e reconhecimento facial foram algumas das razões que proporcionaram estudos voltados para o reconhecimento automático de expressões faciais. Um trabalho pioneiro nesta área foi apresentado por [4]. Muitos autores focam apenas na classificação de expressões, como em trabalhos de [5] e [6]. O presente trabalho tem o propósito classificar com base nas Unidades de Ação (UAs), as seis expressões faciais (raiva,

surpresa, tristeza, nojo, medo e alegria), consideradas universais, transculturais e inatas na natureza humana [7].

A classificação foi efetuada por meio das Redes Bayesianas (RBs) que estão implementadas no *Waikato Environment for Knowledge Analysis-WEKA*, um software livre de mineração de dados, desenvolvido em Java, pelos pesquisadores da Universidade de Waikato, na Nova Zelândia [8]. Para comparação com as RBs, foram usadas as Redes Neurais Artificiais (RNAs) do tipo Multilayer Perceptron (MLP) disponibilizadas pelo WEKA. Usamos estas técnicas devido ao fato de apresentarem altas taxas de acertos na classificação. Na fase de treinamento e teste das RBs e do método utilizado para a comparação foi usado um conjunto de dados desenvolvido a partir da base de dados *Extended Cohn-Kanade (CK+)* [9]. A principal contribuição deste trabalho é basicamente a forma como foi feita a classificação de expressões faciais por meio de UAs.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O reconhecimento de expressões faciais tem sido importante para o avanço na interação homem-computador (IHC). Ao longo dos anos, algumas pesquisas a respeito do tema foram realizadas com o objetivo de automatizar o processo de reconhecimento, considerado um problema interessante e desafiador, como os estudos realizados por [10] e [11]. Atualmente, a maioria das abordagens desenvolvidas no estado da arte visa reconhecer um pequeno conjunto de expressões faciais humanas. Portanto, algumas técnicas computacionais são capazes de obter, em ambiente controlado, taxa de reconhecimento entre 74% e 98% [12].

O reconhecimento de expressões faciais é alvo de pesquisas desde a época de Charles Darwin, que estudou os estados emocionais nos povos isolados encontrando semelhanças nos movimentos responsáveis pela inferência de emoções [13].

Os pesquisadores Ekman e Friesen, em 1981 aprofundaram as ideias de Charles Darwin, e concluíram a existência

de expressões faciais básicas universais, que não variam entre os grupos sociais e não precisam ser ensinadas. O conjunto de expressões produzidas, independentemente do contexto cultural são: raiva, surpresa, tristeza, nojo, medo alegria, exemplificadas na **Figura 1**.



**Fig.1** - As seis expressões faciais básicas. Fonte: [14].

Vale ressaltar que o reconhecimento de expressões faciais pode ser uma importante etapa para o reconhecimento de emoções humanas, mas essas metodologias adotam, além das características faciais extraídas de imagens, as características como variações de voz, gestos, direções do olhar e expressões faciais para reconhecer estados emocionais. Portanto, há que ser feita essa distinção entre as metodologias, conforme mencionam [15].

Na tentativa de padronizar o reconhecimento de expressões faciais, vários sistemas de codificação de ação facial foram desenvolvidos. Dentre esses sistemas, destaca-se na comunidade científica o Sistema de Codificação de Ações Faciais (do inglês *Facial Action Coding System-FACS*) [16]. Este sistema descreve todos os possíveis movimentos faciais produzidos a partir de contrações de músculos faciais (um ou mais músculos) em 44 UAs, que representam os menores movimentos faciais visualmente discerníveis. Dentre estas UAs, 30 são anatomicamente relacionadas com as contrações de músculos faciais específicos, enquanto que as restantes não possuem ações especificadas [17].

As combinações de UAs podem formar uma vasta quantidade de expressões faciais, pois apesar de ser pequena a quantidade de UAs, mais de 7000 combinações foram observadas em investigações. A **Figura 2** apresenta exemplos de algumas UAs, a **Tabela 1** mostra algumas combinações possíveis, como por exemplo, a expressão alegria obtida pela combinação da UA6 (elevação da bochecha), UA12 (alongamento dos cantos da boca) e UA25 (separação entre os lábios).

Nos últimos anos, as UAs têm sido amplamente estudadas por pesquisadores na área de reconhecimento de expressões faciais pelo fato de apresentar bom desempenho na classificação de classes de expressões. Uma tarefa de reconhecimento de expressões faciais consiste basicamente nas seguintes etapas: aquisição da face, extração de características e classificação de expressões faciais [15].



**Fig.2** - Exemplos de UAs. Fonte: [14].

**Tab.1** - Expressões faciais com suas respectivas combinações de UAs.

Expressão Facial	Combinações de UAs
Alegria	UA6+UA12+UA25
Surpresa	UA1+UA2+UA5+UA25+UA27
Raiva	UA4+UA5+UA15+UA17
Tristeza	UA1+UA2+UA4+UA15+UA17
Medo	UA1+UA4+UA7+UA20
Nojo	UA1+UA4+UA15+UA17

## 2.1 Aquisição da face

Na etapa de aquisição, o objetivo é localizar a face em imagens ou sequências de vídeos, eliminando informações desnecessárias. No entanto, inúmeros fatores afetam o desempenho de técnicas de visão computacional responsáveis pela detecção facial, como a iluminação, oclusão da face, presença de cabelo ou óculos sobre a face, orientação da imagem, entre outros, são exemplos de obstáculos encontrados na execução desta tarefa. Um dos métodos mais utilizados no meio acadêmico e na indústria, devido ao baixo custo computacional e baixa taxa de falsos positivos, é denominado de Viola-Jones [18].

## 2.2 Extração de características

Esta etapa consiste na extração de informações relevantes da face que possam representar diferentes tipos de expressões faciais. Se realizada de maneira precisa, a extração possibilita a obtenção de bons resultados, .

Muitos trabalhos no estado da arte focam em melhorar esta etapa, pois a extração de características é considerada o ponto chave para proporcionar boas acurácias. Neste contexto, os trabalhos de [11] e [19], apresentam duas metodologias que são empregadas na tarefa de extração: as baseadas em geometria e as baseadas em aparência. Em algumas literaturas, as abordagens são combinadas a fim de obter uma performance melhor no reconhecimento de expressões faciais formando uma abordagem híbrida. De acordo com [19], [20] é **um exemplo de trabalho** que utiliza uma abordagem híbrida para o reconhecimento de expressões faciais baseado em características para reconhecer UAs individuais e combinações de UAs.

## 2.3 Classificações de expressões faciais

A última etapa do processo consiste em classificar as características extraídas da face, com o objetivo de inferir as expressões faciais utilizando técnicas computacionais, tais como: RBs [21] e RNAs MLP [22]. De acordo com [19], as abordagens utilizadas no reconhecimento de expressões faciais são baseadas em imagens estáticas ou sequências de imagens.

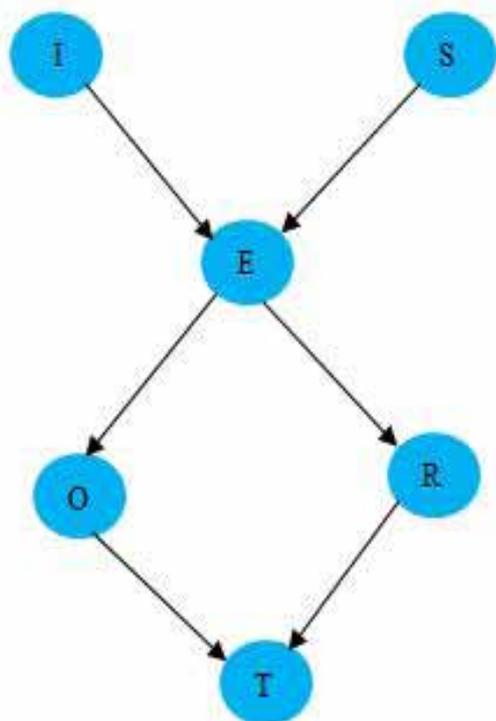
As abordagens baseadas em imagens estáticas utilizam como entrada apenas as informações de uma imagem atual, que contém ou não uma imagem de referência. Nesta classe encontram-se por exemplos os métodos baseados em RNAs e regras. Aquelas baseadas em sequências de imagens consideram as informações temporais das sequências de imagens que representam expressões faciais para realizar a classificação.

### 2.3.1 Redes Bayesianas

As RBs são modelos gráficos capazes de representar as relações de causalidade entre as variáveis aleatórias de um problema. Também chamadas de redes probabilísticas vêm sendo utilizadas em problemas que envolvem incertezas, em

que conclusões são obtidas à medida que novas informações ou evidências a respeito do problema são determinadas, como por exemplo, visão [23] e diagnóstico de doenças [24-25].

Uma RB é representada por um grafo dirigido acíclico (do inglês *Directed Acyclic Graph-DAG*), constituído por nós e arcos. Os nós são as variáveis aleatórias, que podem ser contínuas ou discretas, e os arcos representam as dependências diretas entre as variáveis. **Se houver um arco dirigido de um pai para um nó**, será denominado pai de . Cada nó que possui como pais , contém uma tabela de probabilidade condicional , que apresenta informação quantitativa da variável condicionada a seus pais. Caso não possua pai, a tabela é reduzida para uma probabilidade incondicional ou *a priori*. A estrutura de RBs que adotamos possui dois níveis, onde no primeiro nível há somente uma variável relacionada com as expressões faciais, e no segundo tem-se cinco variáveis que representam as UAs. Um exemplo de estrutura de RB é ilustrado na **Figura 3**.



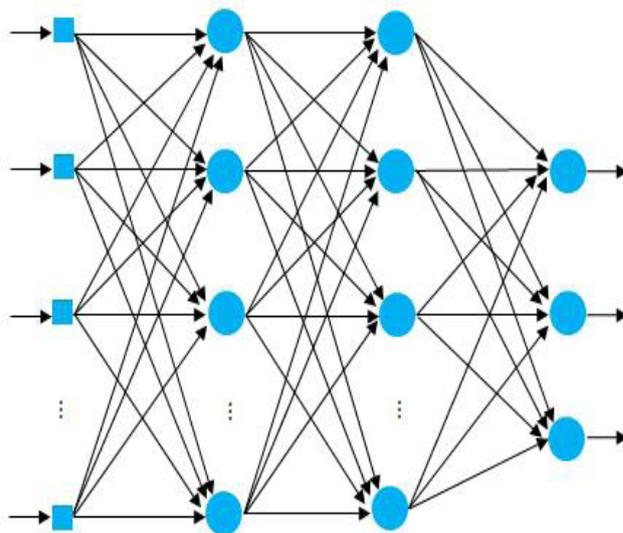
**Fig. 3** - Exemplo de estrutura de RB, em que as variáveis I, S, E, O, R e T representam respectivamente idade, sexo, educação, ocupação, residência e transporte. Fonte: [26].

### 2.5 Redes Neurais Artificiais Multilayer Perceptron

As RNAs são modelos inspirados no sistema nervoso dos seres humanos, que buscam simular o funcionamento do cérebro humano. Os modelos são constituídos de neurônios que estão dispostos em uma ou mais camadas e conectados por meio de sinapses. As RNAs possuem a capacidade de aprender e generalizar a partir de informações obtidas no processo denominado aprendizagem [22].

Neste trabalho, foram utilizadas as RNAs MLP que apresentam normalmente uma camada de entrada, uma ou mais camadas intermediárias ou ocultas e uma camada de saída. As camadas estão interligadas através de elos de conexões ou sinapses, responsáveis por propagar as informações entre as unidades de processamento (neurônios) de forma progressiva. A diferença em relação aos perceptrons de camada única está na presença de camadas intermediárias, que desempe-

nam um papel importante na detecção de características relevantes de padrões usados no treinamento. A arquitetura de RNA que utilizamos contém na camada de entrada uma quantidade de neurônios igual ao tamanho dos vetores de entrada e a camada de saída possui tamanho equivalente ao número de expressões faciais de interesse do estudo. Por outro lado, o número de neurônios na camada interna foi escolhido arbitrariamente e refinado por meio de testes. A **Figura 4** ilustra um grafo estrutural de uma RNA MLP totalmente conectada.



**Fig. 4** - Exemplo de RNA MLP constituída de uma camada de entrada, duas camadas ocultas e uma camada de saída. Fonte: [22].

No presente trabalho, o algoritmo de aprendizagem supervisionada empregado no treinamento das redes MLP é o *backpropagation* proposto por [27]. Este algoritmo consiste de etapas importantes na redução da taxa de erro oriunda da diferença entre a resposta real e a resposta conhecida. As etapas são denominadas de propagação e retropropagação.

Na propagação, um sinal de entrada é processado por cada uma das camadas, resultando ao final do processamento uma resposta de saída sendo que neste processo os pesos sinápticos permanecem inalterados enquanto que, na retropropagação, os pesos são ajustados a fim de minimizar o erro produzido pela subtração da resposta encontrada no processamento com a resposta desejada. O erro é propagado no sentido inverso da direção dos elos de conexões.

## 3. RESULTADOS

Os testes computacionais foram realizados no ambiente do WEKA utilizando as técnicas de classificação RBs e as RNAs do tipo MLP com os parâmetros mantidos nos valores padrão do *software*. Nos experimentos usamos os classificadores com a metodologia de validação cruzada com 10 *folds* apresentada em [28]. Para comparação de desempenho utilizamos também as técnicas com a validação cruzada com 6 *folds*, as quais foram aplicadas sobre uma base de dados composta de 156 instâncias. A **Tabela 2** mostra quantidade de instâncias referente a cada uma das expressões faciais analisadas neste trabalho.

Os experimentos computacionais foram executados em um computador constituído por um processador Inter(R) Core (TM)i5-2410M, 2.3GHz e 4GB de memória RAM. Os resultados experimentais encontrados nos testes serão descritos a seguir.

Tab. 2 - Quantidade de expressões faciais analisadas.

Expressões Faciais	Total
Alegria	52
Tristeza	17
Raiva	10
Surpresa	43
Nojo	26
Medo	8
-	156

### 3.1 Classificação usando Redes Bayesianas com a validação com 6 folds.

Para avaliar o desempenho das RBs, foi utilizada inicialmente a técnica de validação cruzada com 6 folds, que separou o conjunto de dados em 6 grupos. Um grupo foi usado como dados de teste e os 5 grupos restantes foram utilizados como dados de treinamento da abordagem.

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 3, que exibe uma matriz de confusão obtida a partir da avaliação da técnica utilizando a validação cruzada com 6 folds. Esta matriz mostra a quantidade de instâncias classificadas corretamente para cada uma das seis expressões faciais.

Tab.3- Matriz de confusão obtida pelas RBs com a validação cruzada com 6 folds.

Alegria	Tristeza	Raiva	Surpresa	Nojo	Medo
50	0	0	0	0	2
0	15	0	0	0	2
0	1	7	0	2	0
0	0	0	43	0	0
1	1	1	0	23	0
1	0	1	3	2	1

Verifica-se na Tabela 3, que foram inferidas corretamente 50 instâncias relacionadas com a expressão alegria. Para as expressões tristeza e raiva, a técnica classificou corretamente 15 e 7 instâncias, respectivamente.

A técnica apresentou uma boa performance no diz respeito à classificação da expressão surpresa, pois identificou de forma precisa todas as 43 instâncias. Para nojo foram classificadas corretamente 23 instâncias e, por fim, apenas 1 instância foi inferida de forma correta, com a expressão medo. Portanto, foram classificadas corretamente 139 instâncias, resultando em uma taxa de reconhecimento de 89.10%.

### 3.2 Classificação usando Redes Bayesianas com a validação com 10 folds

Neste caso, a performance da técnica foi analisada através da validação cruzada com 10 folds. A Tabela 4 mostra os resultados obtidos utilizando um conjunto de dados para o teste e os 9 conjuntos restantes para o treinamento.

Tab.4 - Matriz de confusão obtida pelas RBs com a validação com 10 folds.

Alegria	Tristeza	Raiva	Surpresa	Nojo	Medo
50	0	0	0	0	2
0	16	0	0	0	1
0	0	8	0	2	0
0	0	0	43	0	0
2	0	1	0	23	0
1	0	0	3	2	2

Observa-se na Tabela 4, que o algoritmo classificou corretamente 43 instâncias relacionadas com a expressão surpresa. Portanto, o percentual de acerto foi de 100%. No entanto, a técnica não obteve bom desempenho a respeito da expressão medo, pois identificou corretamente apenas 2 instâncias, apresentando uma taxa de acerto igual a 25%. Neste caso, foram identificadas de forma precisa 142 instâncias, o que significa que o classificador obteve uma taxa de acerto de 91.02%.

### 3.3 Classificação usando Redes Neurais Multilayer Perceptron com a validação com 6 folds.

Para comparar com os resultados obtidos a partir das RBs, foram efetuados experimentos utilizando as RNAs do tipo MLP, constituídas por 5 neurônios na camada de entrada que representam a dimensão dos vetores de entrada gerados pela combinação de UAs, 5 neurônios na camada oculta e 6 neurônios na camada de saída que correspondem ao número de expressões faciais. A Tabela 5 apresenta os resultados encontrados através da avaliação das RNAs por meio da técnica de validação cruzada com 6 folds.

Tab. 5 - Matriz de confusão obtida pelas RNAs com a validação cruzada com 6 folds.

Alegria	Tristeza	Raiva	Surpresa	Nojo	Medo
45	3	2	0	2	0
3	10	1	3	0	0
1	0	5	0	2	2
0	0	0	43	0	0
4	0	1	0	20	1
0	4	1	1	2	0

Pode-se ver na Tabela 5 que o classificador obteve a melhor performance em relação à expressão surpresa, pois classificou corretamente todas as 43 instâncias atingindo uma taxa de acerto de 100% para esta classe. Diversamente, para a expressão medo o percentual de acerto foi de 0%.

A partir da classificação dos dados utilizando as RNAs, com o método de validação cruzada com 6 folds, foram inferidas 123 instâncias de forma precisa e 33 instâncias foram classificadas incorretamente. O classificador atingiu uma taxa de desempenho igual a 78.84%.

### 3.4 Classificação usando Redes Neurais Multilayer Perceptron com a validação com 10 folds

Neste teste foi usada a técnica de validação cruzada com 10 folds para avaliar o desempenho das RNAs. Na Tabela 6 são apresentados os resultados obtidos no experimento computacional. Observa-se nesta tabela, que as RNAs classificaram corretamente 43 instâncias relacionadas com a expressão surpresa enquanto que para a expressão medo foi inferida apenas 1 instância, porém 3 instâncias foram confundidas como surpresa. Portanto, o percentual de acerto para a surpresa foi de 100%, e para medo foi de 12.5%. As redes apresentaram uma taxa de reconhecimento de 80.76%, pois classificaram corretamente 126 instâncias e 30 instâncias foram identificadas como falsos positivos.

**Tab.6** - Matriz de confusão obtida pelas RNAs com a técnica de validação cruzada com 10 folds.

Alegria	Tristeza	Raiva	Surpresa	Nojo	Medo
48	0	2	0	1	1
5	9	1	2	0	0
2	0	5	1	1	1
0	0	0	43	0	0
4	1	1	0	20	0
1	0	1	3	2	1

### 3.4 Desempenho geral das Abordagens

Pode-se observar, na **Tabela 7**, as taxas de acertos que as técnicas obtiveram nos testes computacionais. A melhor taxa de acerto foi apresentada pelas as RBs, que obtiveram uma taxa de reconhecimento de 91.02%, utilizando a metodologia de validação cruzada com 10 *folds*, e a pior foi obtida através das RNAs com taxa de reconhecimento de 78.84% , com a técnica de validação com 6 *folds*.

Verifica-se, na **Tabela 7**, que tanto as RBs quanto as RNAs apresentaram as melhores taxas de acertos com o método de validação cruzada com 10 *folds*. Os resultados obtidos nos testes mostram que as RBs foram mais eficientes do que as RNAs.

**Tab.7** - Taxas de acertos das abordagens.

Técnicas	6 folds	10 folds
RBs	89.10%	91.02%
RNAs MLP	78.84%	80.76%

## 4. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo a classificação das seis expressões faciais básicas (raiva, surpresa, tristeza, nojo, medo e alegria) em função das UAs. Para alcançar este objetivo, foram utilizadas as RBs, que são modelos probabilísticos capazes de representar as relações de dependência entre as variáveis aleatórias. Também foram utilizadas as RNAs MLP, assim como o método de validação cruzada *fold*. Nos testes efetuados, as RBs com a técnica de validação com 6 e 10 *folds* obtiveram os melhores resultados, com taxas de acertos de 89.10% e 91.02%, respectivamente.

Os classificadores utilizados apresentaram percentuais de acertos de 100% para a expressão surpresa enquanto que, para a expressão medo, as RNAs com o método de validação com 6 *folds* obtiveram o pior resultado com taxa de 0%. Para a mesma expressão, as RBs com a metodologia estatística usada nas RNAs alcançaram uma taxa de 12.5%. No entanto, a expressão medo obteve a menor taxa de acerto comparada as demais expressões classificadas nos testes. Esta questão se deve ao fato da expressão medo ser confundida nos experimentos com as outras expressões, principalmente com a expressão surpresa. [29] afirma que as expressões alegria e surpresa são as mais facilmente identificadas enquanto que medo é considerado a expressão mais difícil de ser identificada, como foi possível observar neste trabalho.

As RBs obtiveram, no geral, uma média de acertos de 90.06%, enquanto que as RNAs apresentaram uma taxa média de 79.80%. Portanto, o desempenho das RBs foi superior ao das RNAs. Concluímos, a partir dos resultados, que as RBs podem ser usadas para inferir expressões faciais em sistemas computacionais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Mehrabian, A. Communication without Words; Psychology Today. 1968, 2, 53, 56.
- [2] Booth, P. A. An introduction to Human-Computer Interaction, Lawrence Erlba- um Associates: Reino Unido, 1995.
- [3] Diniz, F. A. RedFace-Um sistema de reconhecimento de expressões faciais para apoiar um ambiente virtual de aprendizagem, Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, RN, Brasil, 2013.
- [4] Suwa, M.; Sugie, N.; Fujimora, K. A preliminary note on pattern recognition of human emotional expression; International Joint Conference on Pattern Recognition, Kyoto, Japan, 1978.
- [5] Melo, S.; Fernandes, M. A. Estudo comparativo de técnicas computacionais para classificação de emoções. Anais XXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE), Dourados, MG, Brasil, 2014.
- [6] Dantas, A. C.; Melo, A.; Moura, F.; Fernandes, M. Reconhecimento dinâmico de emoções através de expressões faciais utilizando árvore de decisão. Anais do XXVI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE), Maceió, Al, Brasil, 2015.
- [7] Ekman, P.; Friesen, W. V. Constants across cultures in the face and emotion; Journal of Personality and Social Psychology. 1971, 17(2),124,129.
- [8] Witten, I. H.; Frank, E. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques, 2. ed, Morgan Kaufmann: Estados Unidos, 2005.
- [9] Lucey, P.; Cohn, J. F.; Kanade, T.; Saragih, J.; Ambadar, Z.; The extended Cohn-Kanade dataset (CK+): A complete dataset for action unit and emotion-specified expression. In Proceedings of IEEE workshop on CVPR for Human Communicative Behavior Analysis, San Francisco, USA, 2010.
- [10] Aleksic, P. S.; Katsaggelos, A. K. Automatic facial expression recognition using facial animation parameters and multistream hmms, IEEE Transactions on Information Forensics and Security. 2006,1, 3,11.
- [11] Youssif, A. A. A.; Asker, W. A. A. Automatic Facial Expression Recognition System Based on Geometric and Appearance Features; Computer and Information Science. 2011, 4(2),115,124.
- [12] Sebe, N.; Cohen, I.; Gevers, T.; Huang, T. S. Multimodal approaches for emotion recognition: a survey. In Proceedings of the SPIE- The International Society for Optical and Engineering, 2005.
- [13] Darwin. C. The Expression of the Emotions in Man and Animals, John Murray: London, 1872.
- [14] Pantic, M.; Bartlett, M. S. Machine analysis of facial expressions. In K. Delac & M.Grgics (Eds), Face Recognition, Vienna, Austria, 2007.
- [15] Fasel, B.; Luetttin, J. Automatic facial expression analysis: a survey; Pattern Recognition. 2003, 36, 259, 275.
- [16] Ekman, P.; Friesen, W. Facial Action Coding System, Palo Alto: Manual Consulting Psychologists Press: Estados Unidos, 1978.
- [17] Kanade, T.; Cohn, J. F.; Tian, Y. Comprehensive database for facial expression analysis. In Proceedings of the IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 2000.
- [18] Oliveira, E. Um Sistema de Inferência de Expressões Faciais Emocionais Orientado no Modelo de Emoções Básicas, Dissertação de Mestrado, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, Brasil, 2011.
- [19] Tian, Y. L.; Kanade, T.; Cohn, J. F. Capítulo 11. Facial Expression Analysis, 2005.
- [20] Tian, Y. L.; Kanade, T.; Cohn, J. Recognizing action units for facial expression analysis; IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intell. 2001, 23(2),1, 19.
- [21] Heckerman, D. A tutorial on learning with Bayesian networks. Technical Report MSR-TR-95-06, Microsoft Research, USA, 1995.
- [22] Haykin, S. Redes Neurais: princípios e prática, 2.ed, Bookman: Porto Alegre, 2001.
- [23] Levitt, T.; Mullin, J.; Binford, T. Model Based Influence Diagrams for Machine
- [24] Vision. In Proceedings of the Fifth Workshop on Uncertainty in Artificial Intelligence, 1989.
- [25] Spiegelhalter, D.; Franklin, R.; Bull, K. Assessment criticism

- and improvement of imprecise subjective probabilities for a medical expert system. In Proceedings of the Fifth Workshop on Uncertainty in Artificial Intelligence, 1989.
- [26] Heckerman, D. Probabilistic Similarity Networks. Technical Report, STAN-CS - 1316. Departments of Computer Science and Medicine, 1990
- [27] Scutari, M.; Denis, J. B. Bayesian Networks with Examples in R, 1.ed, Chapman and Hall: Estados Unidos, 2014.
- [28] [Rumelhart, D. E.; Hinton, G. E.; Williams, R. J. Learning representations by backpropagating errors; Nature. 1986, 323, 533, 536.
- [29] [28] Zavaschi, T. H.H.; Britto, A. S.; Oliveira, L. E. S.; Koerich, A. L. Fusion of feature sets and classifiers for facial expression recognition; Expert Systems with Applications. 2013, 40 (2), 646, 655.
- [30] [Libralon, G. L. Modelagem computacional para reconhecimento de emoções baseada na análise facial, Tese de Doutorado, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, São Carlos, SP, Brasil, 2014.

# Métricas F.O.R para a detecção de ataques Slow DoS

Dulcineia S Sennejunker\*, Anderson F P dos Santos  
Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil.  
Praça General Tibúrcio, 80, 22290-270, Praia Vermelha  
Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

**RESUMO:** Recentemente, em consequência dos esforços de mitigação aos ataques DoS (Negação de Serviço) tradicionais, os ataques Slow DoS surgem como ameaça à garantia da disponibilização de serviços na Web. Esses ataques são considerados preocupantes devido a furtividade do seu modo de operação, que lentamente e sem alarde, desabilitam a vítima. Esse trabalho apresenta o estado da arte sobre o assunto e algumas estratégias relacionadas à detecção. Com base nestas estratégias, propôs-se as métricas F.O.R. (Flags, Omnia e RTTR), que implementadas em uma ferramenta para data mining, evidenciam a ocorrência de anomalias relacionadas aos ataques Slow DoS. Segundo a metodologia proposta e sob as condições da desigualdade Tchebycheff, discute-se os resultados da detecção. Isto, mediante a análise de um dataset que representa o ambiente de rede real, que mescla tráfego de fundo ao tráfego de ataque.

**PALAVRAS-CHAVE:** Slow DoS. Desigualdade Tchebycheff.

**ABSTRACT:** Recently, as a result of mitigation efforts of traditional DoS attacks, Slow DoS attacks have appeared as a threat to the availability of Web services. These attacks are concerning because of the stealthiness of their operation, which slowly and without flaunt, disable the victim. This work discusses the state of the art on the subject and introduces strategies related to detection. Based on these strategies, the article proposes the F.O.R. metrics, which implemented in a data mining tool evidence the occurrence of anomalies characteristic of Slow DoS attacks. The results of the detection, using the proposed methodology and the Tchebycheff inequality, are discussed. The results are obtained by analyzing a dataset that represents an actual network environment, which was merged background traffic to attack traffic.

**KEYWORDS:** Slow DoS. Tchebycheff Inequality.

## 1. INTRODUÇÃO

Os ataques de negação de serviço são preocupantes, porque impedem que usuários legítimos acessem os serviços disponibilizados na Internet. Esses ataques evidenciam a fragilidade dos servidores, o que favorece o sucesso de atividades maliciosas. Em decorrência dos esforços para mitigação dos ataques à camada de transporte, algoritmos de detecção tais como os baseados em ASV (*Adaptive Selection Verification*) [1], para ataques distribuídos de negação de serviço (DDoS), demonstraram resultados positivos, e por isso, a motivação dos atacantes direcionou-os a outras camadas da arquitetura de redes. Assim, os atacantes que, anteriormente, visavam à camada de rede ou transporte, voltaram sua atenção à camada de aplicação.

No quarto trimestre de 2017, o Brasil ocupou o segundo lugar na *ranking* dos países destinos de ataques a aplicações Web [2], conforme Tabela 1, que apresenta o quantitativo de ataques por país.

Alguns ataques às aplicações Web, tais como HTTP Flood e DNS Flood, são volumétricos e visam saturar ou exaurir os serviços do alvo, como por exemplo, os servidores HTTP.

Além dos ataques de negação de serviço volumétricos ou tradicionais à camada de aplicação, existem também os ataques lentos e de baixa taxa com relação ao número de conexões HTTP, como por exemplo, o ataque Slow DoS.

Os ataques não volumétricos não são menos preocupantes que os ataques de negação de serviço tradicionais, pois conseguem também desabilitar a vítima.

A sofisticação dos atacantes contra os esforços de mitigação, configuram o cenário para mais uma das batalhas da guerra cibernética.

Este artigo propõe métricas a partir de estratégias para a detecção dos ataques Slow DoS. Em função das características dos ataques lentos de negação de serviço, as métricas têm por objetivo a detecção das anomalias relacionadas a deixar estes ataques.

Tabela 1: Países Alvos de Ataques

Posição	País	Nº de Ataques
1	E.U.A.	238.643.360
2	Brasil	21.900.411
3	Reino Unido	19.385.710
4	Canadá	17.459.934
5	Alemanha	13.432.389

**Fonte:** Com base no Relatório da Akamai Technologies [2], Relatório para o 4º Trimestre de 2017.

Na seção 2 desse artigo, descreve-se alguns conceitos básicos relacionados aos ataques de negação de serviço e o estado da arte dos ataques *Slow DoS* que são o foco deste trabalho. Esses conceitos serão necessários para entendimento da seção 3, que tratará dos atributos do tráfego de rede importantes na proposição das métricas de detecção de ataques *Slow DoS*. Na seção 4, apresenta-se a metodologia empregada para a detecção. E, na seção 5, a conclusão do trabalho.

## 2. ATAQUES DE NEGAÇÃO DE SERVIÇO

A motivação dos atacantes varia muito em função da experiência, ideologia ou intenções. Independentemente do motivo, eles exploram vulnerabilidades nos sistemas ou equipamentos das vítimas para então, executar o ataque.

Algumas taxonomias [3,4] contextualizam os critérios para classificação dos ataques e dos mecanismos de defesa. Em função da quantidade de máquinas empregadas na ação, classifica-se o ataque em DDoS, quando várias máquinas são empregadas e DoS quando apenas uma máquina é empregada [5].

## 2.1 Ataques Distribuídos de Negação de Serviço

A negação de serviço, ou DoS, é uma técnica pela qual um atacante utiliza um computador para tirar de operação um serviço, um computador ou uma rede conectada à Internet [6].

O Ataque Distribuído de Negação de Serviço (DDoS) ocorre quando utilizado de forma coordenada e distribuída, ou seja, quando um conjunto de computadores é utilizado no ataque [6].

Existem duas categorias de ataques. Na primeira, o atacante lança o ataque mediante a exploração de vulnerabilidades, sendo, portanto, classificado como ataque de exploração de vulnerabilidades, utilizando *exploits* que são mensagens que exploram brechas de segurança nos sistemas das vítimas desguarnecidas. Assim, sistemas que não são atualizados frequentemente ou máquinas desprovidas de sistemas de proteção como *firewalls*, têm alta chance de serem cooptadas para empreender um ataque. A segunda categoria ocorre mediante grande volume de ataques (inundação), comumente chamada de ataque distribuído de negação de serviço (DDoS). Nessa forma, observa-se o envio brutal de mensagens, aparentemente legítimas, a um sistema alvo e que consomem recursos importantes da vítima, tais como memória, CPU e largura de banda do equipamento alvo [3]. Assim, o objetivo do ataque é atingido através do envio de grandes volumes de pacotes, que ocupam uma proporção significativa de largura de banda disponível, consumindo este recurso considerado crítico num serviço de rede [7].

### 2.1.1 Ataques de Negação de Serviço do Tipo Slow DoS

Dentre as diversas modalidades de negação de serviço, observa-se que a maioria explora as características dos protocolos no nível da camada de transporte tais como UDP, TCP e ICMP [8]. Mas, com os recentes esforços à mitigação dos ataques DDoS tradicionais, os atacantes concentram-se na realização de ataques à camada de aplicação.

O *Slow DoS* não se enquadra na categoria ataque DDoS tradicional, ou seja, ataque volumétrico, porque estes ataques beneficiam-se de vulnerabilidades na segurança, comandando várias máquinas infectadas, normalmente mal-intencionadas. Nestas máquinas, encontram-se instaladas aplicações maliciosas, as *bots*, que são comandadas a enviarem uma grande quantidade de tráfego de ataque [9]. O ataque *Slow DoS* é um ataque DDoS não tradicional, que faz juz ao termo DDoS, principalmente, porque realiza a abertura de inúmeras conexões para concretizar a negação do serviço de maneira furtiva. É um ataque que, diferentemente dos ataques DDoS tradicionais, atua sob o radar de detecção.

Face a diversidade dos tipos de técnicas de ataques de negação de serviço, surgiram diferentes nomenclaturas para os ataques *Slow DoS*. Para melhor entendimento dos processos de análise de tráfego de rede, serão apresentadas algumas definições importantes.

As duas vertentes mais conhecidas desse tipo de ataque são os de alto volume de requisições, semelhantes aos ataques DDoS tradicionais (*High Volume* ou *Flood*) e o baixo volume de requisições (*Low Volume*) com tráfego malicioso enviado à vítima em pequenas porções. Os ataques de baixa taxa classificam-se nas seguintes modalidades: Ataques *Low Rate*, *Slow DoS* e *One Shot* [10].

A maneira pela qual o cliente malicioso atua, ocorre ba-

sicamente em três variações: ataques de cabeçalho (*Slowloris* ou *Slow Headers*), ataques de conteúdo (*Slow Body* ou *R.U.D.Y.*), sendo esses também conhecidos como ataques *Slow Send* e o ataque *Slow Read* [10].

Segundo [10], o *Slow Send* é um ataque com foco no cabeçalho ou corpo da requisição (às vezes chamadas como ataques lentos de cabeçalhos ou ataques lentos de conteúdo (*body*)). O ataque lento de cabeçalho pode ser executado com uma variação popular implementada pela ferramenta *Slowloris* [11] que oferece solicitações HTTP parciais (apenas com métodos GET ou POST) enviadas em intervalos regulares para manter a conexão; e com uma implementação mais geral que permite o uso de vários métodos que podem ser encontrados em *Slowhttptest* [12]. O ataque lento de conteúdo começa com um cabeçalho de mensagem HTTP legítimo e, em seguida, continua enviando uma carga HTTP GET ou POST a um ritmo lento (por exemplo, 1byte/1 min) [13, 14].

Com o *Slow Read*, o atacante envia as mensagens de requisição legítimas e lê as respostas do servidor lentamente. Segundo [15], o ataque explora o controle de fluxo do TCP, ou seja, o atacante envia um pedido legítimo após o *3-way handshake* e, depois o atacante anuncia o tamanho da janela menor que o de costume, fazendo reduzir a operação de resposta HTTP. Assim, o servidor envia dados lentamente para o cliente, mantendo seus sockets abertos. A fim de verificar seu tamanho de janela de recepção o servidor continua investigando o cliente, enquanto o cliente sempre o adverte sobre o pequeno tamanho de janela, diminuindo assim a taxa de transferência. Quanto maior o tamanho do arquivo, mais tempo levará para concluir essas conexões.

## 2.3 Estado da Arte da Detecção dos Ataques Slow DoS

Com a evolução das novas ferramentas de ataque DDoS, novos mecanismos de defesa têm sido propostos. Para que a arquitetura de defesa seja eficiente, o mecanismo de defesa deverá atuar em função do local onde o atacante executa o seu ataque [4], ou seja, onde o ataque ocorrer o mecanismo de defesa deverá atuar.

Segundo [16] os métodos de detecção de anomalia classificam-se em: *machine learning*, *Data Mining*, Inteligência Artificial, métodos estatísticos e baseados em classificadores. A principal vantagem desses métodos é o aprendizado do comportamento esperado mediante observações sem conhecimento prévio das atividades normais do sistema alvo [5], como por exemplo demanda de serviço entre outras.

Na literatura, os trabalhos sobre SDN (*Software-Defined Networking*) mostram-se promissores mediante um conceito de gerenciamento de rede, que pode oferecer defesa eficaz contra ataques DDoS [17]. Segundo [18], é possível utilizar o mecanismo de defesa SDN contra ataques volumétricos à camada de aplicação, porque ataques de inundação, como o HTTP POST, têm o mesmo impacto nos servidores. Este autor ressalta o uso da arquitetura SDN somente para os ataques por inundação.

Alguns trabalhos não tratam dos ataques *Slow DoS* com maior amplitude tratando apenas determinados tipos desse ataque [14, 17, 19]. Nesse sentido, o presente trabalho destina-se à detecção das anomalias referentes a todos os tipos de ataques *Slow DoS*: ataques de cabeçalho, ataques de conteúdo e ataques *Slow Read*. Em [17], é proposto o *SDN-Assisted Slow HTTP DDoS Attack Defense Method* para detectar ape-

nas os ataques *Slowloris* e *Slow HTTP POST*. Neste método, o servidor solicita ao controlador SDN, a verificação do tráfego suspeito. Como por exemplo, quando um servidor *Web* recebe uma requisição HTTP incompleta em uma situação onde o número de conexões abertas no servidor *Web* excede o limiar pré-determinado de conexões concorrentes sendo processadas, o tráfego é considerado tráfego de ataque [17]. Foi utilizado o simulador NS-3.

Outra abordagem que avaliou a detecção para apenas um tipo de ataque *Slow DoS* foi proposta por [14], que utilizou aprendizado de máquina para a determinação das *features* ou atributos mais importantes para a detecção do ataque de conteúdo denominado R.U.D.Y. (“aRe yoU Dead Yet?”), sendo este o nome dado à implementação do ataque. Foi utilizado um comitê de 10 métodos para selecionar as *features* mais importantes para a classe rotulada, dentre eles, a estatística Kolmogorov-Smirnov, Curva ROC, Qui-Quadrado, ganho de informação entre outras. As *features* selecionadas (sete *features*) foram submetidas a três classificadores (KNN, C4.5N e C4.5D) e um outro conjunto de dados com o tamanho de *features* original também foi submetido ao mesmo grupo de classificadores. Não houve diferença significativa na aplicação dos métodos para redução de dimensionalidade. O *dataset* utilizado foi o produzido por [20] denominado SANTA *dataset*. Este trabalho demonstrou a preocupação na seleção das *features* mais importantes a serem utilizadas por um classificador. [21] propôs limiares para o número de conexões por IP com base no número de conexões. E, [19] desenvolveu um sistema detector de ataques DDoS contra servidores utilizando um classificador Bayesiano.

Recentemente surgiram mais trabalhos com foco na nuvem [5, 18]. Segundo [22], a tecnologia SDN trouxe novas perspectivas para a mitigação de ataques DDoS na nuvem.

### 3. MÉTRICAS PARA A DETECÇÃO SLOW DOS

A principal particularidade dos ataques lentos à camada de aplicação é a furtividade. Por exemplo, o ataque *Slowloris* caracteriza-se por picos de tráfego em intervalos regulares [23]. Tais picos de tráfego podem passar despercebidos, pois assemelham-se ao tráfego normal. Esta peculiaridade, potencializa o ataque, fazendo-o muito difícil de ser detectado se comparado a um ataque tradicional de inundação, onde os picos de tráfego são percebidos significativamente.

Independentemente da quantidade de máquinas necessárias para empreender um ataque, [10] afirma que apenas uma máquina não surte o efeito desejado para o ataque *Slow Send*.

Dentre as diversas técnicas para a mitigação de ataques lentos à camada de aplicação pode-se destacar: limitação de conexões que um servidor pode manipular ou uma limitação de várias conexões simultâneas que um cliente pode ter ao mesmo tempo [24].

Uma grande quantidade de endereços IP envolvidos em um ataque não é a principal característica dos *Slow DoS*, diferentemente do que acontece durante os ataques por inundação. Sites de consultas ou notícias podem experimentar esse fenômeno, como por exemplo, em função de divulgação conteúdo ruidoso por parte dos provedores.

Nos ataques *Slow DoS*, é difícil prever os pontos no tempo em que ocorrerão picos de uma demanda imprevisível, que surge aleatoriamente em certos momentos e consome toda a capacidade do sistema [25].

Por isso, é importante que o sistema de detecção possa

estabelecer ou buscar outros padrões característicos de anomalias com base em analogias históricas, para oferecimento de avaliações mais acuradas do tráfego de rede.

Tratando-se especificamente dos ataques lentos ao protocolo HTTP 1.1, pode-se observar características, ou padrões bem definidos, nos traces maliciosos [10], conforme lista a seguir:

1. Súbito aumento no número de conexões.
2. Cabeçalhos das requisições HTTP incompletos.
3. Manipulação do Corpo ou conteúdo das requisições HTTP.
4. Leitura extremamente lenta das respostas do servidor atacado.

As métricas propostas neste artigo buscam detectar tais características mediante análise do comportamento dos atributos do tráfego de rede.

#### 3.1 Flags

No estabelecimento das conexões, durante o *3-way handshake* do protocolo TCP, estão envolvidos os atributos das *Flags* que orientam o estágio das conexões, dentre elas, as *flags* SYN e ACK, onde o servidor denota estar em contato com o cliente durante o estabelecimento da conexão e as *flags* FIN e ACK ao final da conexão.

Refletindo sobre a primeira questão da lista das principais características de ataques lentos, no início desta seção, a métrica *Flags* foi projetada para investigar ocorrências das *flags* SYN e ACK e das *flags* FIN e ACK das conexões HTTP 1.1, presentes durante um período de tempo.

Embora tenham sido introduzidos novos recursos ao protocolo HTTP 2.0, tais como mecanismo de controle de fluxo e algoritmo de compactação de cabeçalho, para mitigação dos transtornos do HTTP 1.1, segundo [26], tais recursos também podem ser explorados por atacantes para empreender um ataque DDoS.

O protocolo HTTP 1.1 da camada de aplicação utiliza o TCP como protocolo da camada de transporte para transmissões confiáveis. No entanto, segundo [27] o protocolo HTTP 2.0, apresentou mais deficiências do que seu predecessor no que tange aos ataques *Slow DoS*.

O escopo desse trabalho está relacionado ao protocolo HTTP 1.1 e aos ataques DDoS com baixo volume de requisições *Slow DoS*.

A estratégia de detecção para desenvolvimento da métrica *Flags* foi a seguinte:

- Se no período considerado, observa-se o súbito aumento de *flags* SYN e ACK, pode-se, no mínimo, considerar um comportamento anormal. A anormalidade pode ser confirmada caso haja, também, a ausência das *flags* FIN e ACK no período considerado dado que existem mais conexões abertas que fechadas. Para verificar esse tipo de anomalia, estabeleceu-se a métrica *Flags* para auxiliar a análise do comportamento da rede, no que tange ao súbito aumento do número de conexões por período de tempo, conforme a Equação 1.

$$Flags = \sum_{i=t_{inicial}}^{t_{final}} SYNACK_i - \sum_{i=t_{inicial}}^{t_{final}} FINACK_i \quad (1)$$

A Equação 1 consiste na diferença entre o somatório das ocorrências das *flags* SYN ACK e FIN ACK por janela de tempo. Onde  $i$  representa o instante  $t$  (pacote) por janela de

tempo.

Para confirmação da condição de anormalidade, calcula-se a média e respectivos desvios padrão das janelas de tempo mais recentes, para a variável *Flags*, conforme Equações 2 e 3.

$$\overline{Flags} = \frac{\sum_{i=1}^{i-(n-1)} Flags_i}{n} \quad (2)$$

$$S_{Flags} = \frac{\sum_{i=1}^{i-(n-1)} (Flags_i - \overline{Flags})^2}{n - 1} \quad (3)$$

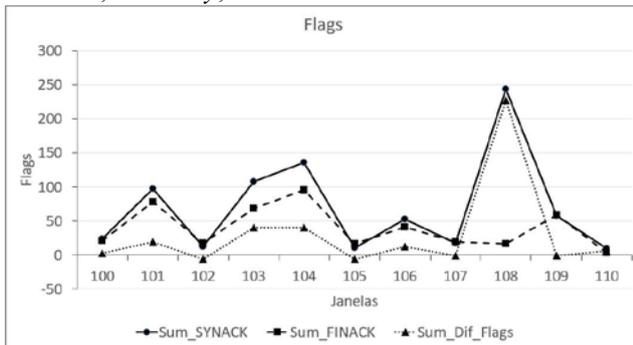
Para a detecção de anomalia, duas condições deverão ser satisfeitas. A primeira, compara a dispersão da variável *Sum\_SYNACK* dada pela Equação 4.

$$Sum\_SYNACK = \sum_{i=t_{inicial}}^{t_{final}} SYNACK_i \quad (4)$$

A segunda compara o valor da diferença das *flags* da janela atual com relação às janelas mais recentes.

Na estatística, em análise de séries temporais, os modelos atribuem peso maior aos dados mais recentes. Então, para a confirmação do estado anormal, ambas as condições citadas deverão atender ao intervalo de confiança estimado pela desigualdade Tchebycheff.

O poder da métrica *Flags* concentra-se na investigação das anomalias comuns aos ataques *Slow DoS: Slow Headers, Slowloris, Slowbody, R.U.D.Y. e Slow Read*.



**Fig 1** - Gráfico da distribuição dos valores das métricas *Flags* por janela de tempo de 30 segundos. Fonte: com base nos dados da Akamai [2].

Pode-se observar na **Figura 1**, que as métricas *Flags* detectam o ataque ocorrido na janela 108, pois os valores das mesmas, com relação ao histórico do tráfego, encontram-se fora do limite considerado pela desigualdade Tchebycheff.

### 3.2 Omnia

Segundo [24], a avaliação da capacidade de resposta do servidor é representada pela percentagem de requisições de clientes HTTP deixadas incompletas durante determinado período. Foram comparadas as taxas de responsividade entre diversos servidores Web a fim de medir a resiliência de cada um dos servidores aos ataques *Low Rate, Slow Send e Slow Read*.

A métrica *Omnia* avalia a quantidade de requisições efetivamente incompletas. Defini-se por requisição incompleta,

as requisições HTTP que não apresentam o CRLF (*Carriage Return Line Feed*) ao final do cabeçalho das requisições com o método GET.

Como estratégia de detecção, para a definição da métrica *Omnia*, considerou-se que uma requisição gerada com um formulário não utiliza necessariamente o método POST [24]. Ao contrário, formulários HTML costumam empregar o método GET e incluem os dados informados (nos campos do formulário) no endereço requisitado. Neste caso, é possível observar os parâmetros próprios desse tipo de solicitação, tais como “?” e “&”. Não foram encontrados esses parâmetros nas solicitações com o método GET, fato que poderia configurar um ataque da categoria *Slow Body*.

A métrica *Omnia* destina-se à investigação dos ataques com essa característica, tais como o *Slow Headers e Slow Body*, de acordo com a literatura atual. Esta métrica oferece o cálculo da taxa de requisições incompletas por janela de tempo sendo representa pela Equação 5.

$$Omnia = \frac{\sum_{i=t_i}^{t_f} \tilde{R}_i}{t} \quad (5)$$

Onde *i* é o *i*-ésimo pacote de dados, *t<sub>i</sub>* é o tempo inicial do intervalo *t*, *t<sub>f</sub>* é o tempo final do intervalo *t*, *R̃<sub>i</sub>* é definida por requisição incompleta do *i*-ésimo pacote e *t* é o intervalo da janela de tempo estática.

### 3.3 RTTR

O RTT (*Round Trip Time*) é o tempo decorrido entre o envio de um pacote e o recebimento do respectivo reconhecimento [28]. Os atrasos percebidos por este atributo da camada de transporte (RTT) podem ser causados pelo envio dos cabeçalhos das requisições HTTP incompletos ao servidor e pela manipulação do conteúdo dos atributos do tráfego de rede, tais como: janela de recepção, *content-length*, entre outros, durante o envio dessas mensagens ao servidor e vice-versa. Pode-se exemplificar tal estratégia de detecção da seguinte forma:

- Se um atacante envia diversos pacotes incompletos, o servidor irá respondê-lo, porque este entende que a conexão pode estar lenta. Neste caso, o cliente mal-intencionado demorará mais tempo que o normal para enviar o reconhecimento (ACK) às mensagens do servidor, pois o atacante realmente deseja manter a atenção do servidor pelo maior tempo possível fazendo-o consumir recursos importantes, como a memória.

Em outra situação, caso a janela de recepção seja manipulada, o servidor, por não ter um limite para a duração das conexões com o cliente, enviará o solicitado em pacotes de tamanho mínimo. Assim, as mensagens de resposta terão tamanho extremamente reduzido e com isso o cliente ilegítimo vai conseguindo manter a atenção do servidor, pois demora a dar o reconhecimento de tudo o que foi enviado pelo servidor. A concretização do RTT lento ocorrerá no servidor. Assim, as mensagens de resposta terão tamanho extremamente reduzido e, dessa forma, o objetivo do atacante, que é a manutenção da conexão com o servidor pelo maior período possível, é atingido.

Portanto, a métrica *RTTR* (RTT Real) buscará por esses tipos de anormalidade. Para averiguação dos comportamentos do RTT fora do padrão, assume-se que o servidor será a

fonte e o cliente o destino, pois o valor RTT se concretizará no servidor.

A métrica *RTTR* foi projetada em função do RTT Real e não o valor de RTT suavizado, que é utilizado para gerenciamento da temporização de transmissão. Para evitar que o remetente sature o *buffer* do destinatário rapidamente, o protocolo TCP utiliza o controle de fluxo, fazendo com que o remetente mantenha a variável janela de recepção sob qualquer suspeita [28].

Calcula-se a métrica *RTTR* pelo somatório dos valores de RTT por janela de tempo de acordo com Equação 6.

$$RTTR = \sum_{i=t_{inicial}}^{t_{final}} RTT_i \quad (6)$$

O poder da métrica *RTTR* concentra-se na investigação das características dos ataques *Slow DoS* (*Slow Headers*, *Slowloris*, *Slowbody* e *Slow Read*).

#### 4. METODOLOGIA PARA SISTEMA DE DETECÇÃO

Os sistemas de detecção baseiam-se na assinatura dos ataques ou buscam padrões de comportamentos anômalos no tráfego de rede, principalmente, para realimentar os métodos empregados na mitigação dos problemas ocasionados pelos ataques à rede.

Outra classificação importante em um sistema de detecção é o local onde o sistema deverá atuar: se próximo à fonte, próximo à vítima ou em roteadores intermediários. Segundo a taxonomia proposta por [5], o tráfego é mais disperso próximo à fonte e, portanto, torna-se muito difícil encontrar pacotes maliciosos, pois parecem pacotes inofensivos.

A metodologia proposta por [29] detecta anomalias causadas pelos ataques *Slow DoS*, com base nas métricas concebidas no presente trabalho, derivadas das estratégias de detecção descritas na seção anterior. O mecanismo desse sistema baseia-se na detecção de anomalias com base no comportamento dos atributos de rede e o local onde o mecanismo atua é próximo à vítima.

Os ataques *Slow DoS* aproveitam-se da leniência de alguns servidores Web [30, 31] com relação aos atrasos na rede de computadores. Por este motivo, a detecção deve atentar para as mudanças de comportamento na rede.

Utiliza-se a metodologia de detecção de ataques *Slow DoS* [29], conforme Figura 2. Essas métricas fornecerão o cálculo dos atributos de rede necessários para o predictor Média Móvel Simples (MMS) realizar a previsão do instante seguinte, com base na avaliação do histórico de rede. Foi utilizado o período de 30 janelas de tempo para o predictor MMS.

A metodologia tem início com o recebimento do tráfego de rede, que sofrerá um processo de estimação das janelas de tempo. Este processo consiste em dividir o atributo do tráfego, *time*, em intervalos fixos, ou seja, as janelas de tempo estáticas de 30 segundos. Em seguida os pacotes de uma determinada janela são encaminhados à fase de processamento pelas métricas. Adotou-se a janela de tempo de 30 segundos, com base em experimentos realizados em outros trabalhos de detecção [10,21].

As métricas compõem um comitê de votação com peso uniforme e processam seus resultados com execução paralela. Assim, todas as métricas participam do processo de verificação de anomalia e fornecem o seu resultado ao decisor, após o processo de classificação, onde ocorrerá a rotulação do tráfego

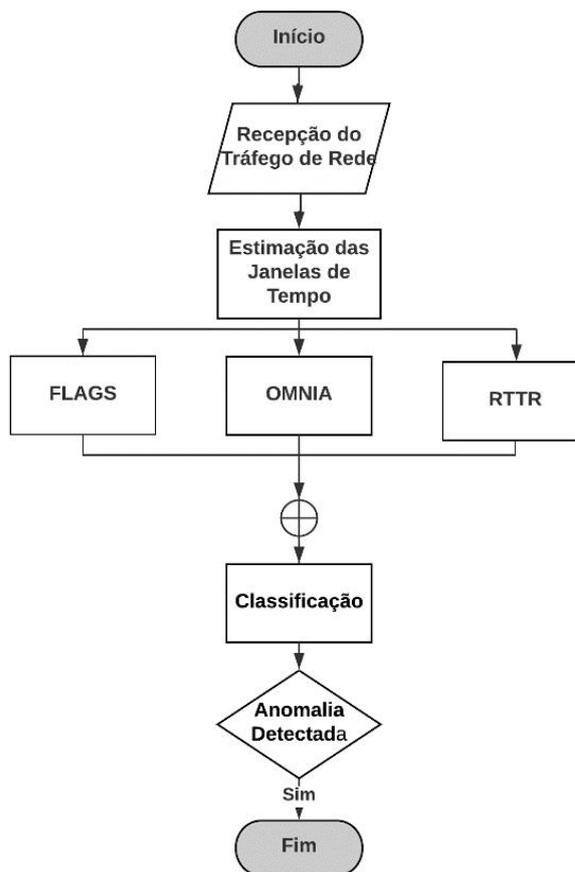


Figura 2 - Arquitetura para detecção de anomalias para ataques *Slow DoS*. Fonte: [29].

em normal ou anormal, segundo a desigualdade Tchebycheff.

Assim, dentro do espaço hipótese, dado que uma das métricas detectou anormalidade, o classificador rotula o período analisado como anormal.

A classificação do tráfego será determinada pela desigualdade Tchebycheff, que computará o resultado da média móvel analisando-o segundo o intervalo estipulado. Segundo [32], tais desigualdades são úteis para o trabalho com distribuições, cuja forma da função de distribuição é desconhecida. Por esse motivo, dado que não se conhece a distribuição das variáveis de tráfego envolvidas nesse trabalho, tais como aquelas calculadas pela métrica *Flags* e pela métrica *RTTR*, emprega-se a desigualdade Tchebycheff, dada pela Equação 7.

$$P(X \geq \lambda\sigma + \mu \text{ ou } X \leq \mu - \lambda\sigma) \leq \frac{1}{\lambda^2} \quad (7)$$

Pela desigualdade Tchebycheff, estima-se que pelo menos 89% do tráfego normal (sem ataque) ficará dentro dos limites de 3S a partir da média. Há uma chance de 89% do intervalo conter a média da população e, conseqüentemente, o que estiver fora dos limites será considerado anormal. Adotou-se o valor de igual à 3, com base no controle estatístico de qualidade, cuja convenção dos limites de controle dos pontos do processo posiciona-se no mesmo limiar a partir da média.

#### 4.1 Análise da Metodologia

As métricas foram implementadas em um Workflow Científico para análise de big data chamado Alteryx e testa-

das no CIC (Canadian Institute for Cybersecurity) DoS Dataset da Universidade de New Brunswick no Canadá.

#### 4.1.1 O Dataset

Há grande dificuldade na obtenção de *dataset* privado para a pesquisa de detecção de ataques, pois há grande receio de danificar ativos importantes durante a aplicação do experimento.

Sobre o tema *Slow DoS*, existem poucos *datasets* que possam ser explorados. O CIC DoS Dataset (*Application-Layer*) foi escolhido porque o CIC [33] possui alguns dos *datasets benchmarks* mais utilizados por universidades, indústria privada e pesquisadores independentes para detecção de anomalias. Segundo CIC, as características do dataset são as seguintes: Apache Linux v.2.2.22; Traces do ISCX-IDS Dataset (livre de ataques); Produção de 4 tipos de ataques à camada de aplicação com diferentes ferramentas; 8 traces de ataque DoS à camada de aplicação com 24 horas de tráfego de rede totalizando 4.6 GB; e Ataques direcionados aos 10 Servidores Web do ISCX-IDS Dataset [33].

#### 4.1.2 Resultados Obtidos

Os resultados foram analisados segundo a matriz confusão da **Figura 3**.

Matriz Confusão		Predita	
		+	-
Classe Verdadeira	+	VP	FN
	-	FP	VN

**Fig 3** – Matriz Confusão com base em [34].

A matriz confusão traz informações entre a classe verdadeira e a classe predita. A classe pode ser positiva (+), quando há ataque, e negativa (-), caso contrário. VP é a quantidade de verdadeiros positivos, ou seja, janelas detectadas corretamente com ataque; FP (falsos positivos) são as janelas que foram detectadas com ataque, mas na realidade não contém ataque; VN (verdadeiros negativos) é a quantidade de janelas que não são ataques e também não foram detectados quaisquer ataques e FN é a quantidade de janelas que deveriam ter sido detectadas com ataque, mas não foram detectadas. Logo, o somatório de VP, VN, FP e FN corresponde à *n* (número de janelas de tempo após divisão do tráfego em janelas estáticas).

Assim, a regra comum aplicada para classificação dos resultados decorrentes da execução paralela das métricas, segundo a metodologia proposta, classificou as janelas em verdadeiros positivos ou falsos positivos de acordo com as seguintes regras:

- Se a anomalia foi detectada na janela que coincidia ou pertenciam à janela indicada pelo gabarito da Figura 4, a janela foi rotulada anormal. Portanto esse tráfego seria VP; e
- quando a anomalia foi detectada em janelas imediatamente posteriores à janela indicada pelo gabarito da Figura 4, foi realizada uma apuração do tráfego dentro da janela. Verificou-se que o comportamento suspeito (ex. demandas com alto RTTR, envio de pacotes incompletos, aumento expressivo de conexões) era atribuído ao endereço IP listado como alvo. Conforme gabarito, a anomalia

foi classificada como VP e FP, caso contrário.

Janelas Detectadas pelas Métricas F.O.R.				
Ataque	Alvo	Início	Janela	Deteções
<i>Slow Body</i>	75.127.97.72	após 00:53 min	106	108, 109
<i>Slow Read</i>	75.127.97.72	após 01:58 min	236	237, 238, 239, 240
<i>Slow Headers</i>	74.63.40.21	após 02:57 (177 min)	354	371
<i>R.U.D.Y.</i>	75.127.97.72	após 03:08 (188 min)	376	∅
<i>R.U.D.Y.</i>	208.113.162.153	após 03:29 (209 min)	418	419
<i>Slow Headers</i>	67.220.214.50	após 06:00 (360 min)	720	725, 737
<i>Slow Body</i>	69.192.24.88	após 08:13 (493 min)	986	988, 989
<i>Slow Body</i>	97.74.144.108	após 09:03 (543 min)	1086	1088, 1089, 1093
<i>Slow Body</i>	203.73.24.75	após 09:09 (549 min)	1098	1106
<i>R.U.D.Y.</i>	97.74.144.108	após 09:20 (560 min)	1120	∅
<i>Slow Read</i>	74.55.1.4	após 11:02 (662 min)	1324	1325, 1326, 1328
<i>Slow Headers</i>	97.74.104.201	após 11:27 (687 min)	1374	1379, 1380, 1384, 1385, 1391
<i>Slowloris</i>	97.74.144.108	após 15:20 (920 min)	1840	1841, 1842, 1843, 1844
<i>Slow Headers</i>	97.74.144.108	após 15:47 (947 min)	1894	∅
<i>Slowloris</i>	75.127.97.72	após 16:33 (993 min)	1986	1987, 1989, 1990
<i>Slow Headers</i>	75.127.97.72	após 17:13 (1033 min)	2066	2072, 2083
<i>R.U.D.Y.</i>	74.55.1.4	após 20:59 (1259 min)	2518	2518, 2519

**Fig 4** – Gabarito e Resultados Obtidos na Implementação das Métricas F.O.R.

Os resultados da implementação das métricas estão dispostos na Figura 5. O processamento das métricas F.O.R., executadas paralelamente resultou em acurácia de 95%, taxa de detecção ou sensibilidade de 71%, taxa de erro na classe positiva de 29% e taxa de erro na classe negativa de 5%.

A precisão alcançada foi de 22%. Já a média harmônica, com peso igual a um, para as medidas de precisão e sensibilidade, foi de 34%.

Matriz Confusão		Classe Predita	
		+	-
Classe Verdadeira	+	VP = 36	FN = 15
	-	FP = 128	VN = 2702

**Fig 5** – Resultados de Desempenho do Processamento das Métricas

Segundo [5], nenhum mecanismo de defesa pode alcançar 100% de detecção dos pacotes de ataque, mas deve alcançar taxas de verdadeiros positivos (VP) e verdadeiros negativos (VN), com o mínimo possível de falsos positivos (FP) e falsos negativos (FN).

É importante destacar que, caso a métrica se baseie apenas no padrão do tráfego de rede, qualquer *outlier* poderia ser detectado como ataque. Desse fato, observa-se que, dependendo do ambiente de rede, que pode ser bastante instável, este pode contribuir para o aumento de falsos positivos. Apesar do planejamento das métricas preocupar-se com essa possibilidade, o fato é que os ambientes de rede são instáveis por natureza e a ocorrência nula de falsos positivos, em tese, não faz parte da realidade.

Com essa abordagem, o processamento das métricas F.O.R. obteve uma taxa de erro na classe positiva alta. Esta medida de desempenho demonstra que o algoritmo deixou de classificar ataques de fato, com erro de 29% sobre o total de ataques. Esse resultado trouxe uma quantidade alta de FN, o que afetou o cálculo da taxa de detecção (sensibilidade ou abrangência).

A acurácia obteve ótimo resultado com 95% de acertos no total da classificação do tráfego sob análise.

A anomalia referente ao ataque *R.U.D.Y.* foi a mais difícil de ser detectada, conforme Tabela 2. Este fato também foi citado por [10].

**Tab 2 - Ocorrências Detectadas – Métricas F.O.R.**

Tipo Ataque	Nome Ataque	# Ocorrências Ataques	#Detecções	# FN
Cabeçalho	Slowloris	2	2	0
	Slow Headers	5	4	1
Conteúdo	Slow Body	4	4	0
	R.U.D.Y	4	2	2
Leitura Lenta	Slow Read	2	2	0

Fonte: Com base nos dados do CIC DoS Dataset [33].

## 5. CONCLUSÕES

Recentemente, como consequência dos esforços de mitigação aos ataques DoS tradicionais, os ataques *Slow DoS* surgem como ameaça à garantia da disponibilização de serviços na web. Esse ataque é considerado preocupante devido a furtividade do seu modo de operação, que lentamente e sem alarde, desabilita a vítima.

Uma das vantagens da metodologia proposta é que não há um *threshold* previamente definido para os atributos do tráfego de rede. A detecção de anomalias na distribuição de pacotes de uma janela é feita mediante a observação dos valores prévios ou analogia histórica do próprio tráfego de rede.

A contribuição desse trabalho foi a proposição de estratégias de detecção e métricas, sem complicações de cálculo, que tem papel fundamental na detecção desses ataques, pois a detecção de ataques de negação de serviço possui vários desafios dentre os quais pode-se citar a obtenção de mecanismos de detecção mais rápidos, porque esquemas de detecção consomem recursos da vítima e isso afeta a capacidade de acurácia.

Como trabalho futuro, pretende-se estender as discussões deste artigo propondo uma metodologia que possa não apenas detectar anomalias, mas também efetuar a identificação do ataque *Slow DoS*.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Sr. Arash Habibi Lashkari pela disponibilização do CIC DoS Dataset, ao Sr. Hugo Gonzalez pelas respostas referentes aos ataques Slow DoS e também à equipe do Grupo Alteryx Analytics, responsável pela disponibilização da ferramenta Alteryx para as análises de big data realizadas nesse trabalho de pesquisa.

## REFERÊNCIAS REALIZADAS

- [1] Khanna, S., Venkatesh, S. S., Fatemeh, O., Khan, F., & Gunter, C. A. (2012). Adaptive selective verification: An efficient adaptive countermeasure to thwart dos attacks. *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, 20(3), 715-728.
- [2] Akamai Technologies. Q1 report 2017 akamai state of the internet. Q1 Report 2017. Akamai State of the Internet, v. Q1 2017, 2017. Disponível em: <https://www.akamai.com/us/en/multimedia/documents/state-of-the-internet/q1-2017-state-of-the-internet-connectivity-report.pdf/>. Acesso em: 21 jun. de 2017.
- [3] J. Mirkovic, P. Reiher, A taxonomy of DDoS attack and DDoS defense mechanisms. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, v. 34, n. 2, p. 39–53, 2004.
- [4] Bhuyan, M. H., Kashyap, H. J., Bhattacharyya, D. K., & Kalita, J. K. (2013). Detecting distributed denial of service attacks: methods, tools and future directions. *The Computer Journal*, 57(4), 537-556.
- [5] Gupta, B. B., Badve, O. P. (2017). Taxonomy of DoS and DDoS attacks and desirable defense mechanism in a cloud computing

environment. *Neural Computing and Applications*, 28(12), 3655-3682.

- [6] CGI.BR. Cartilha de segurança para internet. CGI. br (Comitê Gestor da Internet no Brasil), v. 2012, 2012. Disponível em: <https://www.cgi.br/>. Acesso em: nov.de 2016
- [7] T. Peng, G. Leckie, K. Ramamohanarao, Survey of network-based defense mechanisms countering the dos and DDoS problems. *ACM Computing Surveys*.
- [8] Y. Ohsita, S. Ata, M. Murata, Detecting distributed denial-of-service attacks by analyzing tcp syn packets statistically. *IEICE transactions on communications*, v. 89, n. 10, p. 2868–2877, 2006.
- [9] S. S Silva, R. M Silva, R. C Pinto, R. M Salles. (2013). Botnets: A survey. *Computer Networks*, 57(2), 378-403.
- [10] H. Jazi, H. Gonzalez, N. Stakhanova, A. A. Ghorbani, Detecting http-based application layer dos attacks on web servers in the presence of sampling. *Computer Networks*, v. 121, p. 25–36, 2017.
- [11] Rsnake, J. K.; LEE, R. Slowloris http DoS. URL: <http://ha.ckers.org/slowloris/> (June 2009), v.1, p. s/n, 2009. Disponível em: <http://ha.ckers.org/slowloris/(June 2009)>. Acesso em: 21 jan. de 2018.
- [12] Sheklyan, S. Slowhttptest-application layer DoS attack simulator. Available: <http://code.google.com/p/slowhttptest>, v. s/n, p. 1, 2013. Disponível em: <http://code.google.com/p/slowhttptest>. Acesso em: 21 jan. de 2018.
- [13] Chee, W. O.; Brennan, T. HTTP POST slide show. In: [S.N.], [s.n.], 2010. *Anais eletrônicos*. [S.l.: s.n.], 2010, p. 1. Disponível em: <https://www.owasp.org/index.php/OWASPHTTPPostTool>. Acesso em: 21 jan. de 2018.
- [14] M. M. Najafabadi, T. M. Khoshgoftaar, A. Napolitano, C. Wheelus, Rudy attack: Detection at the network level and its important features. In: *Flais Conference, 29., Florida Artificial Intelligence, 4., Florida.Proceedings...* Florida: SciTePress, 2016, p. 288–293.
- [15] Park, J.; Iwai, K.; Tanaka, H.; Kurokawa, T. Analysis of slow read DoS attack. In: *Information Theory and its Applications (ISITA), 2014 International Symposium ON*, [s.n.], 2014. *Anais eletrônicos*. [S.l.: s.n.], 2014, p.9560 – 64. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6979803/>. Acesso em: 14 set. de 2017.
- [16] Osanaiye, O., Choo, K. K. R., Dlodlo, M. (2016). Distributed denial of service (DDoS) resilience in cloud: review and conceptual cloud DDoS mitigation framework. *Journal of Network and Computer Applications*, 67, 147-165.
- [17] K. Hong, Y. Kim, H. Choi, J. Park, SDN-Assisted Slow HTTP DDoS Attack Defense Method, 2017. *IEEE Communications Letters*.
- [18] Yan, Q., Yu, F. R., Gong, Q., & Li, J. (2016). Software-defined networking (SDN) and distributed denial of service (DDoS) attacks in cloud computing environments: A survey, some research issues, and challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(1), 602-622.
- [19] Katkar, V., Zinjade, A., Dalvi, S., Bafna, T., & Mahajan, R. (2015, February). Detection of DoS/DDoS Attack against HTTP Servers Using Naive Bayesian. In *Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA), 2015 International Conference on* (pp. 280-285). IEEE.
- [20] Wheelus, C., Khoshgoftaar, T. M., Zuech, R., & Najafabadi, M. M. (2014, November). A Session Based Approach for Aggregating Network Traffic Data--The SANTA Dataset. In *Bioinformatics and Bioengineering (BIBE), 2014 IEEE International Conference on* (pp. 369-378). IEEE.
- [21] T. Hirakawa, K. Ogura, B.B. Bista, T. Takata, T., A Defense Method against Distributed Slow HTTP DoS Attack. In *Network-Based Information Systems (NBIS), 2016, September 19th International Conference on* (pp. 152-158). IEEE.
- [22] Shameli-Sendi, A., Pourzandi, M., Fekih-Ahmed, M., & Cheriet, M. (2015). Taxonomy of distributed denial of service mitigation approaches for cloud computing. *Journal of Network and Computer Applications*, 58, 165-179.
- [23] Aqil, A., Atya, A. O., Jaeger, T., Krishnamurthy, S. V., Levitt, K., McDaniel, P. D., & Swami, A. (2015, October). Detection of stealthy tcp-based dos attacks. In *Military Communications Conference, MILCOM 2015-2015 IEEE* (pp. 348-353). IEEE.
- [24] Gonzalez, H., Gosselin-Lavigne, M. A., Stakhanova, N., & Ghorbani, A. A. (2014). The Impact of Application-Layer Denial-of-Service Attacks. *Case Studies in Secure Computing: Achievements and Trends*, 261.
- [25] Menascé, D. A., & Almeida, V. A. (2003). Planejamento de Ca-

- pacidade para Serviços na Web: Métricas, modelos e métodos. Rio de Janeiro: Campus.
- [26] Jiang, M., Wang, C., Luo, X., Miu, M., & Chen, T. (2017, June). Characterizing the impacts of application layer DDoS attacks. In Web Services (ICWS), 2017 IEEE International Conference on (pp. 500-507). IEEE.
- [27] Tripathi, N., & Hubballi, N. (2018). Slow rate denial of service attacks against HTTP/2 and detection. *Computers & Security*, 72, 255-272.
- [28] Kurose, J. F., & Ross, K. W. (2014). *Redes de Computadores e a Internet. Uma Abordagem Top Down*.
- [29] Sennejunker, D. S. T-Slow: Algoritmo para a Detecção de Ataques Slow DoS. 2018. 105p. Dissertação (Mestrado em Sistemas e Computação) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2018.
- [30] Damon, E., Dale, J., Laron, E., Mache, J., Land, N., & Weiss, R. (2012, October). Hands-on denial of service lab exercises using slowloris and rudy. In proceedings of the 2012 information security curriculum development conference (pp. 21-29). ACM.
- [31] Helalat, S. M. (2017). An Investigation of the Impact of the Slow HTTP DOS and DDOS attacks on the Cloud environment.
- [32] Savage, I. R. (1961). Probability inequalities of the Tchebycheff type. *Journal of Research of the National Bureau of Standards-B. Mathematics and Mathematical Physics B*, 65(3), 211-222.
- [33] CIC-DOS. University of New Brunswick-Canadian Institute for Cybersecurity (CIC)-DoS Dataset. [S.l.: s.n.], 2017. (Relatório Técnico). Acesso <http://www.unb.ca/cic/datasets/index.html> no dia 04/03/2018.
- [34] K. Faceli, A. C. Lorena, J. Gama, A. C. Carvalho. *Inteligência Artificial: Uma abordagem de aprendizagem de máquina*. [S.l.]: Grupo Gen-LTC, 2015

# Uso de metodologia de análise multicritério para a identificação de áreas para a habitação de interesse social - Duque de Caxias/RJ

Daniel Taboada Placido\*, Leonardo Castro de Oliveira, Marcos de Meneses Rocha  
Instituto Militar de Engenharia, Seção de Engenharia Cartográfica – SE/6  
Praça General Tibúrcio, 80, Praia Vermelha,  
Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 222290-290  
\*daniel.placidouff@gmail.com

**RESUMO:** A questão habitacional representa um grande desafio para a política pública no Brasil. A hipótese fundamental desta pesquisa é que as áreas com maior infraestrutura urbana, como escolas, hospitais, creches, linhas de ônibus, e que respeitem as legislações ambientais e urbanísticas são aquelas mais indicadas para a construção de moradias. O objetivo deste artigo é propor uma metodologia de identificação de áreas prioritárias para a construção de habitações de interesse social com o apoio de técnicas de análise espacial e método de análise hierárquica, utilizando como estudo de caso o município de Duque de Caxias. A metodologia desta pesquisa consiste na quantificação das variáveis, reclassificação, agregação das variáveis por zonas, e na ponderação destas zonas com o uso da AHP, construção do mapa final e a validação do resultado. Os resultados apontaram que as áreas prioritárias concentram-se no primeiro distrito, entretanto, as moradias localizam-se em áreas de baixa oferta de infraestrutura urbana.

**PALAVRAS-CHAVE:** Habitação de Interesse Social. AHP. Análise Espacial. Modelo Computacional. Localização Ótima.

**ABSTRACT:** The housing issue represents a major challenge for public policy in Brazil. The main hypothesis of this research is that areas with the greatest urban infrastructure, such as schools, hospitals, nurseries, bus lines and that respect environmental and urban legislation, are the ones best suited for the construction of housing. The objective of this article, is to propose a methodology for identification of priority areas for the construction of housing of social interest with the support spatial analysis techniques and Analytic Hierarchy Process, using as a case study the municipality of Duque de Caxias. The methodology of this research consists in the quantification of variables, reclassification, aggregation of variables by zones, weighting of these zones with the use of AHP, construction of the final map and validation of the result. The results indicated that the priority areas are concentrated in the first district, however, housing of social interest is located in areas of low urban infrastructure.

**KEYWORDS:** Housing of Social Interest. AHP. Spatial Analysis. Computational Model. Optimal Location.

## 1. INTRODUÇÃO

A questão habitacional, deixada por décadas em segundo plano, passou a ganhar força nos últimos anos. Assim, torna-se papel dos municípios integrar novos projetos habitacionais à malha urbana dando cidadania aos moradores das cidades. Esta questão representa um grande desafio para a política pública no Brasil. Após décadas sem programas de incentivos no segmento, há um acúmulo no déficit habitacional do país de mais de 5,7 milhões em 2012, principalmente entre as famílias mais pobres, cuja saída foi a busca de alternativas como construções informais em áreas periféricas e de risco [1].

Nos últimos anos, o programa habitacional de maior relevância e maior aporte financeiro foi o Programa Minha Casa, Minha Vida, criado pela Lei 11.977/2009 [2] e administrado pela Caixa Econômica Federal. Ao lado dele, há também uma série de programas habitacionais capitaneados pelos estados e municípios, muitos deles feitos em parceria. Destaca-se, dentre eles, o Programa da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (PCDHU), fundado em 1949, que comercializou por volta de 500 mil unidades habitacionais. No âmbito do Governo Federal, o programa habitacional que mais avançou antes de 2009 foi o do Banco Nacional da Habitação (BNH), criado pela Lei 4.380/1964 (BRASIL, 1964) [3], que foi extinto em 1986. Atualmente, grande parte dos condomínios são construídos em áreas isoladas, sem infraestrutura urbana adequada e distante dos postos de trabalhos, escolas e hospitais. Este fato gera a precarização da vida dos moradores, aumento demasiado da densidade em regiões com limitada estrutura e dos custos para o poder público municipal.

Tratar de assuntos sociais de maneira tangível é sempre tarefa difícil, de tal modo que a técnica aplicada deveria facilitar a relação entre o discernimento e o fenômeno social

que se está abordando. Os valores sociais de nossa sociedade requerem um método conveniente de avaliação que nos permita perceber equivalências entre fatores como dinheiro, qualidade ambiental, saúde, felicidade e instâncias similares [4]. Para o autor, a dificuldade em mensurar os fenômenos sociais se dá por se tratarem de procedimentos que até agora não utilizam medidas de escalas e dificilmente são mensuráveis. Isto posto, pode-se dizer que se está propondo uma metodologia que permita construir um modelo computacional que possa mostrar as áreas do município com maior infraestrutura, característica fundamental para a construção de habitações de interesse social, que garante, ao mesmo tempo, a viabilidade ambiental.

O levantamento, a organização, a espacialização e a disponibilização das informações relacionadas à habitação são de fundamental importância para a elaboração de políticas públicas voltadas para o setor de habitação. Esta pesquisa se fundamenta no esforço em conciliar a redução do déficit habitacional com projetos habitacionais bem localizados, ou seja, garantindo infraestrutura, meios de locomoção, compatíveis com a realidade do município, proporcionando a melhoria da qualidade de vida dos moradores beneficiados. O aporte de recursos federais para os programas habitacionais, em especial, para o Programa Minha Casa, Minha Vida, associado a outros fatores como o comprometimento da administração municipal, permitiu que muitos municípios construíssem uma política habitacional efetivamente ampla. A escolha adequada de um empreendimento residencial garantirá que as unidades habitacionais sejam construídas em local seguro, com vias urbanas adequadas, infraestrutura de saneamento básico e social que atenda os novos moradores. Com o exposto, reforça-se a ideia de que é preciso municiar os gestores públicos de critérios para a escolha dos melhores locais para a construção das habitações populares, de modo a diminuir os problemas sociais do município.

O objetivo deste artigo é propor uma metodologia para a identificação de áreas prioritárias para a construção de habitações de interesse social com apoio de técnicas de análise espacial e método de análise hierárquica. A realidade do município de Duque de Caxias, no Estado do Rio de Janeiro, foi empregada como estudo de caso para aplicação da metodologia. Com base na legislação sobre habitação de interesse social, no que tange ao planejamento urbano municipal, as variáveis foram identificadas, espacializadas e hierarquizadas para serem inseridas no modelo computacional. O resultado encontrado foi a identificação das áreas mais propícias para a localização de empreendimentos habitacionais de interesse social.

## 2. LEGISLAÇÃO PERTINENTE E DÉFICIT HABITACIONAL

Em 1948, com a Declaração Universal dos Direitos Humanos, a ONU estabelece o direito à moradia adequada como um direito universal, aceito e aplicável em todas as partes do mundo como um dos direitos fundamentais para a vida das pessoas.

No Brasil, o direito a moradia é garantido pela Constituição Federal, onde consta que “todos são iguais perante a lei, sem distinção de qualquer natureza”. No artigo 6º, a Constituição afirma que são direitos sociais “a educação, a saúde, a alimentação, o trabalho, a moradia, o lazer, a segurança, a previdência social, a proteção à maternidade e à infância, a assistência aos desamparados” [5]. Em 2001, o Estatuto da Cidade [6] criou as diretrizes gerais da política urbana no Brasil, prevendo uma série de instrumentos jurídicos e políticos que facilitam a aplicação dessas diretrizes pelos Municípios. Porém, é através das políticas setoriais, das leis infraconstitucionais, que consistem em leis que estão hierarquicamente abaixo da Constituição Federal, como a Lei 11.977/2009, Minha Casa, Minha Vida [2], e dos Planos Diretores Municipais que a política habitacional torna-se efetiva [5].

A Lei 11.977, de 2009 [2,7], alterou parcialmente o modelo de política habitacional adotado pelo Governo Federal. A lei atribui ao setor privado um papel central na promoção de novos empreendimentos habitacionais, principalmente ao exigir dos municípios a regulação da atuação do setor privado, sendo uma das funções do município viabilizar terrenos compatíveis com os empreendimentos. Esses terrenos devem ser seguros e com a infraestrutura necessária ao porte do conjunto habitacional. O artigo 5º da Lei Federal 11.977 de 2009 exige que, para a implantação de empreendimentos, deverão ser observados:

“I - localização do terreno na malha urbana ou em área de expansão que atenda aos requisitos estabelecidos pelo Poder Executivo Federal, observado o respectivo plano diretor, quando existente;

II - adequação ambiental do projeto;

III - infraestrutura básica que inclua vias de acesso, iluminação pública e infraestrutura de esgotamento sanitário e de drenagem de águas pluviais e permita ligações domiciliares de abastecimento de água e energia elétrica;

IV - a existência ou compromisso do poder público local de instalação ou de ampliação dos equipamentos e serviços relacionados à educação, saúde, lazer e transporte público.”

Os Municípios têm por obrigação assegurar ações em prol do desenvolvimento de fatores facilitadores da implementação dos projetos, destacando-se a indicação das áreas prioritárias para a implantação dos projetos, isenção de tributos e aporte de recursos.

A tabela 1 apresenta as legislações referentes aos programas

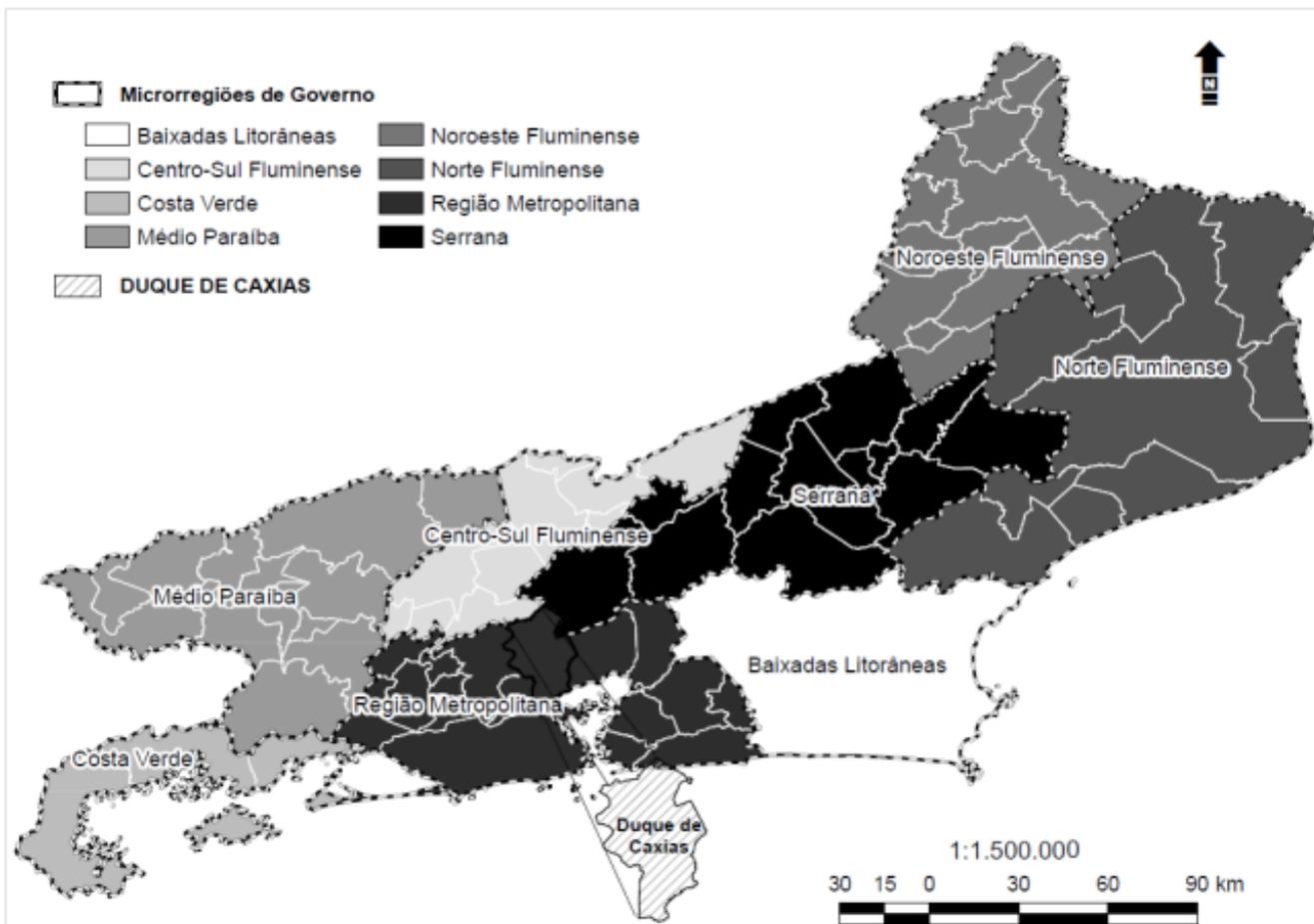
habitacionais, à ocupação e ao uso do solo urbano por esferas de poder. Partes destas informações são específicas do município de Duque de Caxias (DC).

De acordo com o Plano Local de Habitação de Interesse Social (PLHIS) [7], o déficit habitacional do município de Duque de Caxias em 2010 era de 32.522 unidades habitacionais. Conforme projeções, para o ano 2023 estima-se que o município terá 970.622 habitantes e demanda habitacional de 44.648 domicílios. No município de Duque de Caxias, o número de inscritos no programa habitacional em agosto de 2015 chegou a 39.000 moradores e em 2016 ultrapassou os 50 mil inscritos, valor superior ao déficit habitacional oficial indicado pela Fundação João Pinheiro.

É fato que a valorização imobiliária em vários municípios brasileiros tem empurrado muitos empreendimentos habitacionais de interesse social para as franjas dos centros urbanos, o que aumenta a necessidade de investimentos públicos em urbanização e infraestrutura. No município de Duque de Caxias, este problema está se agravando pela expansão dos setores de logística e de petróleo e gás, que recebem forte investimento governamental. A valorização destes terrenos leva as construtoras a buscarem terrenos cada vez mais afastados dos centros urbanos e que, na maioria dos casos, são mais baratos e, normalmente, com maior metragem.

**Tab 1** - Principais leis inerentes à questão habitacional.

Federais	Princípio
6.766/1979 [8]	Estabelece os limites das áreas non-aedificandi de infraestruturas.
Decreto 97.780/1989 [9]	Criação da Rebio-Tinguá.
Decreto 527/1992 [10]	Criação da APA Petrópolis.
9.985/2000 [11]	Cria o SNUC, Sistema Nacional de Unidade de Conservação.
10.257/2001 [6]	Cria o Estatuto da Cidade que estabelece as diretrizes da política urbana no Brasil.
CONAMA 303/2002 [12]	Dispõe sobre as Áreas de Proteção Permanente (APPs).
11.124/2005 [13]	Cria o Sistema de Habitação de Interesse Social, o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social e o seu Conselho Gestor.
11.977/2009 [2]	Cria o Programa Minha Casa, Minha Vida.
12.424/2011 [14]	Programa Minha Casa, Minha Vida 2.
Portaria 465/2011 [7]	Dispõe sobre diretrizes gerais para aquisição e alienação para o PMCMV.
2.651/2012 [15]	Novo código florestal, que estabelece as áreas de preservação permanente.
Estaduais	Princípio
BRA/93/022 - 2008 [16]	Criação do Projeto Iguaçu / INEA
Decreto 44.032/2013 [17]	Criação da APA do Alto Iguaçu.
Resolução INEA N° 93/2014	Delimitação de áreas de preservação permanente de topo de morro no Estado do Rio de Janeiro.
Municipais	Princípio
Decreto 2.238/1991	Criação da APA da Caixa d'Água.
Decreto 3.020/1997	Criação da APA São Bento.
1.618/2001	Código de usos, funções e posturas urbanas.
2.022/2006	Política de proteção, conservação e melhoria do meio ambiente
Lei compl. 01/2006	Plano Diretor de Duque de Caxias com validade de 10 anos.
Lei compl. 02/2011	Altera o Plano Diretor Municipal.
2014 [18]	Conclusão do Plano Municipal de Redução de Risco (Consultivo).



**Fig. 1-** Localização de Duque de Caxias no Estado do Rio de Janeiro de Janeiro  
 Fonte: Subsecretaria de Habitação de Duque de Caxias/ Mapa base: IBGE - 2010

A busca por terrenos afastados tem por objetivo a aquisição de grandes lotes com menor preço, permitindo que a empreiteira execute a construção de um grande número de unidades com valor unitário mais baixo, pois os custos fixos são rateados pelo total das unidades:

*“O modo de produção de moradias populares para além dos limites da cidade tem consequências graves que acabam prejudicando a todos. Além de encarecer a extensão das infraestruturas urbanas, que precisam alcançar locais cada vez mais distantes, o afastamento entre os locais de trabalho, os equipamentos urbanos e as áreas de moradia aprofundam as segregações socioespaciais e encarecem os custos da mobilidade urbana. As longas viagens diárias entre a residência e os locais de trabalho ou de ensino congestionam as vias e os transportes coletivos, prejudicando a qualidade de vida coletiva.” [19].*

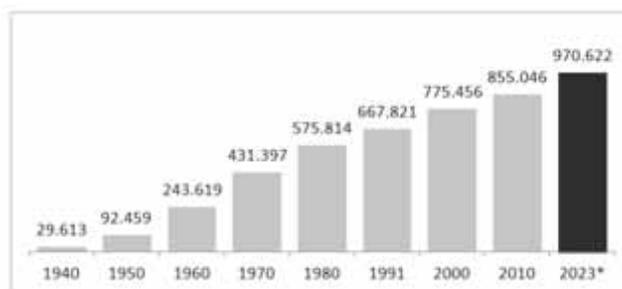
A dificuldade de orientar a localização dos empreendimentos é recorrente em vários municípios brasileiros, onde o poder público permitiu a construção de novas moradias em áreas afastadas, sem qualquer infraestrutura ou até mesmo em áreas de risco. Muitos municípios sequer possuem condições técnicas para a elaboração de um relatório ou organização política para a realização de um grupo intersecretarias para a análise dos empreendimentos. Essa limitação acaba por permitir que as empresas da construção civil tenham seus projetos aprovados sem maiores questionamentos. Terrenos bem localizados na cidade viabilizam melhores condições de vida para os moradores, maiores possibilidades de trabalho, menor custo de vida, além de permitir acesso aos equipa-

mentos de educação, saúde, cultura e lazer, aproveitando a infraestrutura e serviços urbanos já instalados [20].

### 3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MUNICÍPIO DE DUQUE DE CAXIAS

Duque de Caxias está situado na Baixada Fluminense, na região metropolitana do Rio de Janeiro, no estado do Rio de Janeiro – veja a figura 1. É o terceiro município mais populoso do estado, com 855.046 pessoas [21].

O forte crescimento ocorrido nas décadas de 1950 e 1960 gerou um acréscimo de mais de 300 mil pessoas em um período de 20 anos. De acordo com a figura 2, a taxa média geométrica de crescimento anual do município vem caindo a cada ano: na década de 1940, o crescimento era de 12% ao ano; no período entre 2000 e 2010, a taxa média de crescimento encontra-se abaixo de 1% ao ano.



**Fig. 2 -** Crescimento e estimativa da população de Duque de Caxias Fonte: [5]

O desigual acesso às terras urbanizadas e a produção

informal de moradia são marcas das cidades brasileiras em geral. Devido ao alto custo em adquirir um imóvel formal, ou um terreno regularizado, muitas pessoas recorrem a informalidade e passam a construir suas casas em áreas de risco, na beira de rios, por exemplo. Esse cenário não é diferente no município de Duque de Caxias.

O município se caracteriza pela forte dependência da metrópole fluminense, sendo também destino de migrantes que buscavam melhores condições de trabalho no Rio de Janeiro, principalmente nas décadas de 1950 a 1970 [5].

Durante muito tempo os municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro eram conhecidos como “cidades-dormitórios”, mas este processo vem sendo lentamente modificado. A falta de uma política habitacional e a não existência de um planejamento urbano que pense o município como um todo permitiu a proliferação de loteamentos formais e informais, além de ocupação em beiras de rios, encostas, e em extensas áreas de mangue do município de Duque de Caxias. O descaso com a ocupação e o uso do solo criou bolsões de pobreza e recorrentes desastres ambientais, tais como deslizamentos e inundações.

#### 4. METODOLOGIA

As principais técnicas utilizadas neste artigo foram o Método de Análise Hierárquica, que permite hierarquizar as variáveis escolhidas, e as de análise espacial, em especial, a de álgebra de mapas.

#### 5. PRINCIPAIS TÉCNICAS UTILIZADAS

O Método de Análise Hierárquica, *Analytic Hierarchy Process* (AHP), é uma importante técnica de análise desenvolvida na década de 1970. A prática da tomada de decisão está ligada à avaliação de alternativas, de maneira que leve em conta um conjunto de fatores predeterminados. O problema consiste em escolher a alternativa que satisfaça melhor o conjunto total de objetos. O objetivo deste método, em linhas gerais, é incluir e medir todos os fatores importantes, qualitativa ou quantitativamente mensuráveis, sejam eles tangíveis ou intangíveis, além de verificar sua inter-relação [4].

A análise espacial compreende a análise da distribuição espacial de dados oriundos de fenômenos ocorridos no espaço [22]. Com a popularização do geoprocessamento e o aumento de softwares na área, as análises espaciais vêm se tornando cada vez mais usuais. Na análise espacial destacam-se três tipos de dados: os eventos pontuais, as superfícies contínuas, e, por fim, as áreas com contagens. Dentre as técnicas

que compõem a análise espacial, destaca-se a Álgebra de Mapas, que inclui um grande número de operações com imagens matriciais raster. A Álgebra de mapa teve seu uso popularizado a partir da década de 1990 [23].

Um SIG consiste em um conjunto de técnicas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e representar visualmente dados espaciais, extraídos do mundo real [24]. Os autores ainda apontam que procedimentos para a manipulação de dados em SIG que é preciso, em primeiro lugar, identificar uma espécie de discretização dos dados, que são definidas por pontos, linhas, polígonos e pixels (dados matriciais). Hoje em dia os SIGs se tornaram uma técnica indispensável nas análises ambientais e sociais quando tratam da questão espacial. O avanço das técnicas e das análises em ambientes SIGs possibilitaram seu emprego em diversas áreas do conhecimento, permitindo a quantificação e a espacialização de eventos, o que permite a análise de dados complexos e a integração de dados georreferenciados de diversas fontes.

#### 6. DEFINIÇÃO, ESPACIALIZAÇÃO E HIERARQUIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS COMO PROPOSTA METODOLÓGICA

Neste artigo foi utilizado o *software* ArcGIS 9.3, presente na Seção de Ensino de Engenharia Cartográfica do Instituto Militar de Engenharia. Foi utilizada a extensão *Spatial Analyst* do *software*, que contém as principais rotinas de análise espacial, tais como o *Map Algebra*, *Euclidean Distance* e *Reclassify*. Ressalta-se que há viabilidade de utilização de softwares livres como o QGIS, TerraView e outros.

A variável consiste em uma característica ou atributo descritivo de um elemento da população [20]. Para a identificação das variáveis que serão utilizadas no modelo, que visa à identificação das áreas com maior infraestrutura do município, utilizou-se o disposto na Lei Federal 11.977/2009, que trata sobre o “Programa Minha Casa, Minha Vida” (PMCMV) [2]. No total serão inseridas 30 variáveis divididas em três tipos: i) infraestruturas, como escolas municipais, creches, hospitais, praças; ii) áreas restritas, como unidades de conservação de uso integral, zoneamentos restritos, áreas de proteção permanentes, e, por fim, iii) áreas não recomendáveis, como as unidades de conservação de uso sustentável e zonas de amortecimento

A figura 3 apresenta o fluxograma das etapas de desenvolvimento da pesquisa, inclusive a etapa de validação, para se determinar o método mais adequado. No que se refere às infraestruturas, serão inseridas no modelo oito variáveis, sendo elas: escolas de ensino fundamental (Municipais); escolas de

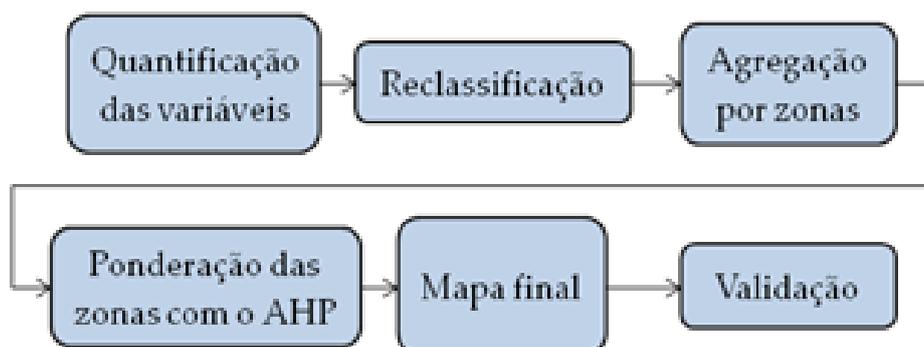


Fig. 3 - Fluxograma com o encadeamento lógico da modelagem.

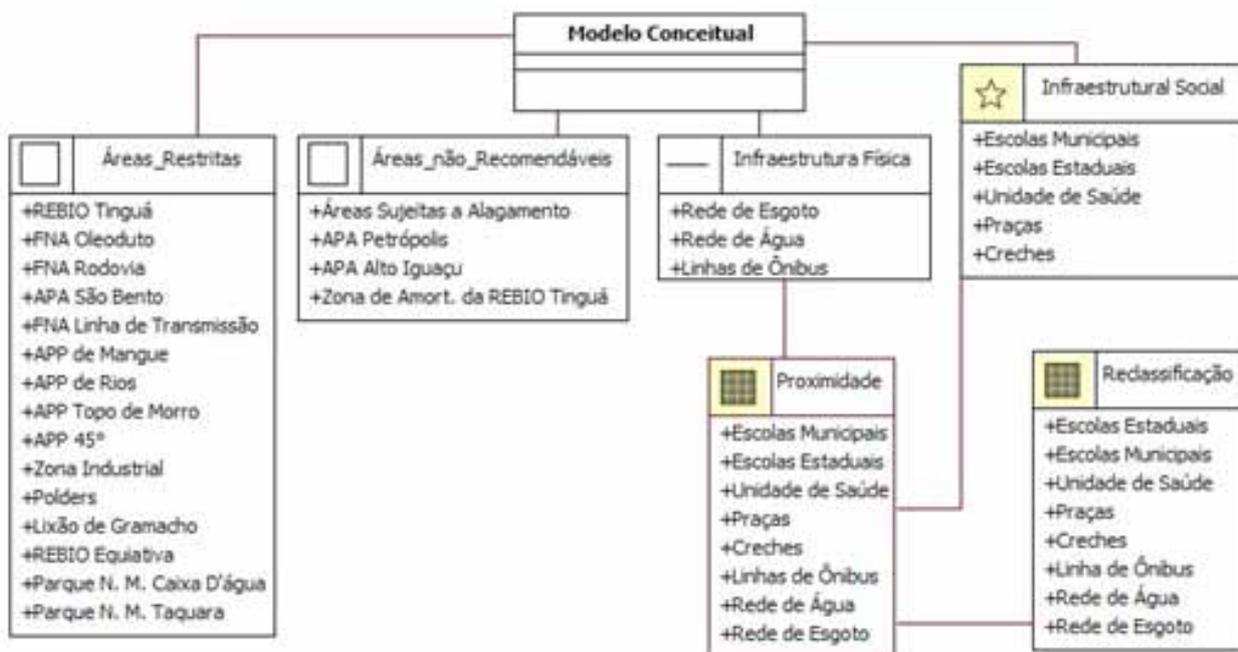


Fig. 4 - Fluxograma do modelo conceitual

Fonte: Dados obtidos junto a Subsecretaria Municipal de Duque de Caxias

ensino médio (Estaduais e Federais); unidades de saúde; creche; linhas de ônibus; praças; rede de esgoto; e rede de água.

As áreas restritas do município foram determinadas com base no art. 5º da Lei Federal 11.977 e todas as variáveis foram apresentadas segundo a instância governamental que a regula [2]. No caso de Duque de Caxias foram verificadas 17 tipos de restrições, que foram transformadas em variáveis. Por fim serão incluídas as 5 áreas não recomendáveis do município. Estas áreas não inviabilizam os projetos habitacionais, porém não são indicadas. São zonas de amortecimento e Áreas de Proteção Ambiental, além das áreas sujeitas à inundação, de acordo com o Plano Municipal de Risco.

A partir da definição das variáveis empregadas nesta fase da pesquisa, partiu-se para a coleta e aquisição dos dados e para a posterior preparação dos mesmos. A figura 4 apresenta o fluxograma com o modelo conceitual da pesquisa, com todos os shapefiles (camadas vetoriais) e dados matriciais raster, definidos em pixels com tamanho definido nos procedimentos computacionais.

A organização foi feita de acordo com as etapas da pesquisa e o tipo de dado, identificado por pontos, linhas, polígonos e dados matriciais. Os dados estão armazenados em formato .shp (shapefile) e geotiff, com datum horizontal Sirgas 2000, e em projeção UTM - fuso 23S.

Os dados de infraestrutura foram obtidos em formato vetorial e estão representados por pontos e linhas. Para a construção do modelo, optou-se em transformar os dados para o formato matricial, com resolução espacial de 50m, de acordo com a proximidade que cada ponto do município possui para a infraestrutura mais próxima.

Para a construção do modelo buscou-se no urbanismo um conceito já estabelecido para a definição das classes propostas. O pensamento de Clarence Artur Perry propõe que os principais equipamentos sociais devem estar próximos às moradias. As Prefeituras do Rio de Janeiro, Goiânia e São Paulo usam metodologias baseadas nas teorias de Clarence Perry, modificando apenas os valores, mas preservando o

conceito atribuído pelo autor [25].

Para esta pesquisa foram utilizadas as classes de dados definidas pelo município do Rio de Janeiro, a partir da semelhança e proximidade com Duque de Caxias. Os dados em formato matricial foram agrupados em classes de 400m, 800m, 1.200m e 2.400m para a identificação das classes mínimas indicadas para a existência de infraestrutura.

O passo seguinte foi reclassificar as feições matriciais agrupadas no processo anterior. O intuito foi atribuir novos valores para as classes determinadas, de maneira a padronizar todas as feições raster. Este processo foi utilizado a fim de permitir que as feições fossem normatizadas para serem utilizadas no AHP. O resultado da reclassificação foi realizado de acordo com tabela 2.

Tabela 2 - Relação de reclassificação entre os valores de proximidade e os pesos

Reclassificação	
Distância (m)	Pesos
0 - 400	9
400 - 800	7
800 - 1200	5
1200 - 2400	3
> 2400	1

Os valores foram reclassificados de acordo com os pesos [1 a 9], sendo 1 o pixel referente às áreas com as maiores distâncias para a infraestrutura e 9 para o pixel com as menores distâncias para a infraestrutura.

Para a inserção das áreas restritas do município, usou-se a álgebra booleana na busca de determinar as áreas do município proibidas por lei para construção habitacional. Estas áreas possuem restrições de uso tanto por questões ambientais como por determinação do uso do solo, de acordo com legislações municipais.

As áreas não recomendáveis não possuem legislação que impeçam construções habitacionais, todavia são áreas que

possuem restrições ambientais. É o caso da APA do Alto Iguaçu, APA Petrópolis e da zona de amortecimento da Rebio Tinguá, com limites para a densidade habitacional e não recomendadas para a construção de condomínios. Por isso, foram usados os valores 1 e 1/2, por considerar que as áreas não eram restritas, porém não podiam ser consideradas potencialmente iguais às outras áreas do município para fins de habitação e interesse social. No final, estas áreas tiveram seu peso máximo igual ou inferior à metade de 9, que era o valor máximo que uma área podia ter.

Para a realização do modelo, chegou-se, através de experimentos, que a melhor maneira de modelar os fenômenos é agregá-los utilizando, em primeiro lugar, a ferramenta *zonal* (agregação) e, posteriormente, o uso do AHP (ponderação). A ferramenta *Zonal* tem por objetivo o cálculo estatístico a partir da leitura de uma base de dados matricial raster para uma ou mais “zonas” geográficas definidas pelo usuário [26].

Uma zona é definida como uma extensão territorial de entrada que tem o mesmo valor. Nesta técnica podem ser empregados os valores de mediana, média, menor valor, maior valor, variação, majoritário, minoritário, desvio padrão e somatório.

Assim, aplicou-se a ferramenta para agregar a cada setor (zona) o mesmo valor assumido a partir dos diferentes valores encontrados na camada matricial raster dentro da mesma área, utilizando, neste caso, a mediana para calculá-los. Por exemplo, para o elemento escola, cada setor possuirá o mesmo valor da mediana da distância reclassificada (peso).

Durante a fase de pesquisa, constatou-se que a agregação com o uso da mediana preservou melhor os dados. A mediana consiste na localização do valor central das observações e evita que valores muito altos ou baixos alterem o resultado.

Os valores oriundos da reclassificação dos valores de proximidade foram representados e quantificados através das variáveis envolvidas em uma hierarquia de critérios ponderados por preferências (pesos). O autor assume que as comparações paritárias foram obtidas por questionamento direto às pessoas (um único indivíduo, se o problema era do seu interesse apenas) que podiam ou não serem especialistas, mas que estivessem familiarizados com o problema: “um ponto central em nossa abordagem é que as pessoas muitas vezes são inconsistentes, mas as prioridades têm de ser definidas, e as coisas têm de ser feitas a respeito da inconsistência.” [4].

Estes pesos foram determinados na Subsecretaria de Habitação de Duque de Caxias com base no conhecimento e na colaboração dos funcionários da subsecretaria. Esta colaboração teve por objetivo verificar o grau de importância de cada infraestrutura a partir de especialistas que acompanhassem as necessidades dos moradores dos condomínios.

Para análise do município e determinação das melhores áreas para a construção de empreendimentos habitacionais, foi preciso definir qual seria a escala de análise. Após verificação, chegou-se a conclusão que o uso dos setores censitários do Censo Demográfico do IBGE/2010 não seria adequado, por possuir um total de 1.233 setores, valor muito elevado. A outra opção seria utilizar os bairros de Duque de Caxias: o município possui mais de 850 mil habitantes, dividido em 41 bairros, com áreas muito díspares.

Para encontrar um valor de área mais adequado, optou-se por determinar setores (zonas). No Urbanismo já existem critérios estabelecidos para a definição de um valor coerente para a análise em escala municipal. Para a definição de Unidades de Vizinhaça, o autor determinou em sua pesquisa que esta área tivesse a partir de 64 ha e área máxima de 450 ha. Che-

gou-se, então, ao número de 196 setores. Todos os setores ficaram com área superior a 64 ha e inferior a 450 ha, com dezoito setores rurais com área maior que 450 ha [27].

Por fim, para a validação dos resultados foi feita uma análise dos empreendimentos entregues, em construção, e dos empreendimentos em fase de projeto. Sobretudo, os resultados foram validados a partir da experiência dos funcionários da Subsecretaria de Habitação de Duque de Caxias, como também a partir da rejeição ou aprovação dos empreendimentos nas respectivas fases. Tanto os projetos prontos como os em construção já possuem demanda já indicada, além dos empreendimentos em fase de projeto. O objetivo foi verificar se os empreendimentos localizados em áreas com os maiores pesos também eram os empreendimentos sobre os quais os funcionários da Subsecretaria de Habitação concluem que são os empreendimentos que melhor atendem as necessidades dos moradores.

## 6.1 Discussão dos resultados quantificação das variáveis de proximidades

Como descrito anteriormente na metodologia, este passo é fundamental para a obtenção do modelo que permite a localização das melhores áreas para a escolha de um empreendimento habitacional de interesse social. Em acordo com a metodologia proposta – a representação espacial das distâncias de proximidade 400m, 800m, 1.200m e 2.400m – foram produzidos 8 mapas, um para cada variável. A figura 5 apresenta os 8 mapas para as infraestruturas físicas e sociais do município de Duque de Caxias.

É possível observar uma má distribuição das infraestruturas pelo município. Ao compararmos a rede de distribuição de água e a rede de esgoto, a espacialização reforça a carência de infraestrutura de esgoto em grande parte território municipal, em especial na parte norte e central de Duque de Caxias, onde se verifica a maior expansão. Outro ponto que chama a atenção, ao observar os mapas de forma comparativa, é a má distribuição de escolas estaduais e federais, responsáveis preferencialmente pelo ensino médio e técnico. Em comparação com as escolas municipais, as de responsabilidade do Estado e da União se concentram em especial no primeiro distrito, enquanto que as municipais se apresentam melhor distribuídas no município. As creches, além de mal distribuídas por Duque de Caxias, possuem um número reduzido de unidades, somando 21 unidades ao todo, em especial no primeiro distrito.

Após a produção dos mapas de proximidade das infraestruturas, os valores foram reclassificados com base na quantificação das variáveis, etapa fundamental para a construção do modelo final que irá gerar os resultados que orienta as áreas com melhor infraestrutura.

## 6.2 Agregação (mediana)

Após a reclassificação e o uso da ferramenta *Zonal*, tem-se como resultado o mapa reclassificado e identificado em área para cada infraestrutura. A ferramenta *Zonal* tem por objetivo, neste caso, agrupar o valor total em um setor e ter como resposta a mediana de cada infraestrutura. Assim, a figura 6 apresenta um mapa coroplético dos setores com maior infraestrutura no município de Duque de Caxias.

As áreas identificadas no mapa na cor vermelha representam as áreas com maior infraestrutura, enquanto as áreas na cor azul representam as áreas com menor infraestrutura.

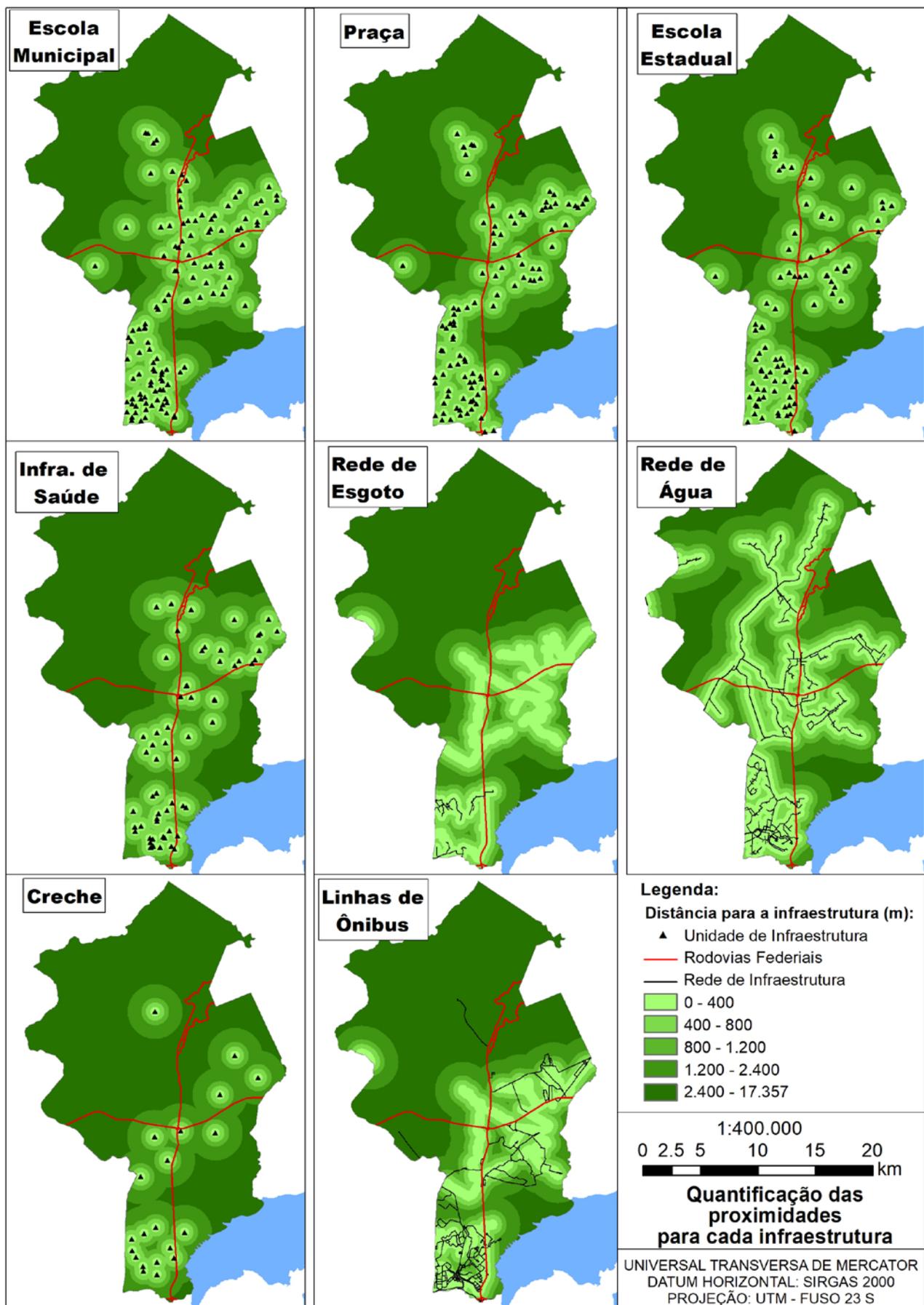


Fig. 5 - Distância para a infraestrutura / 2016

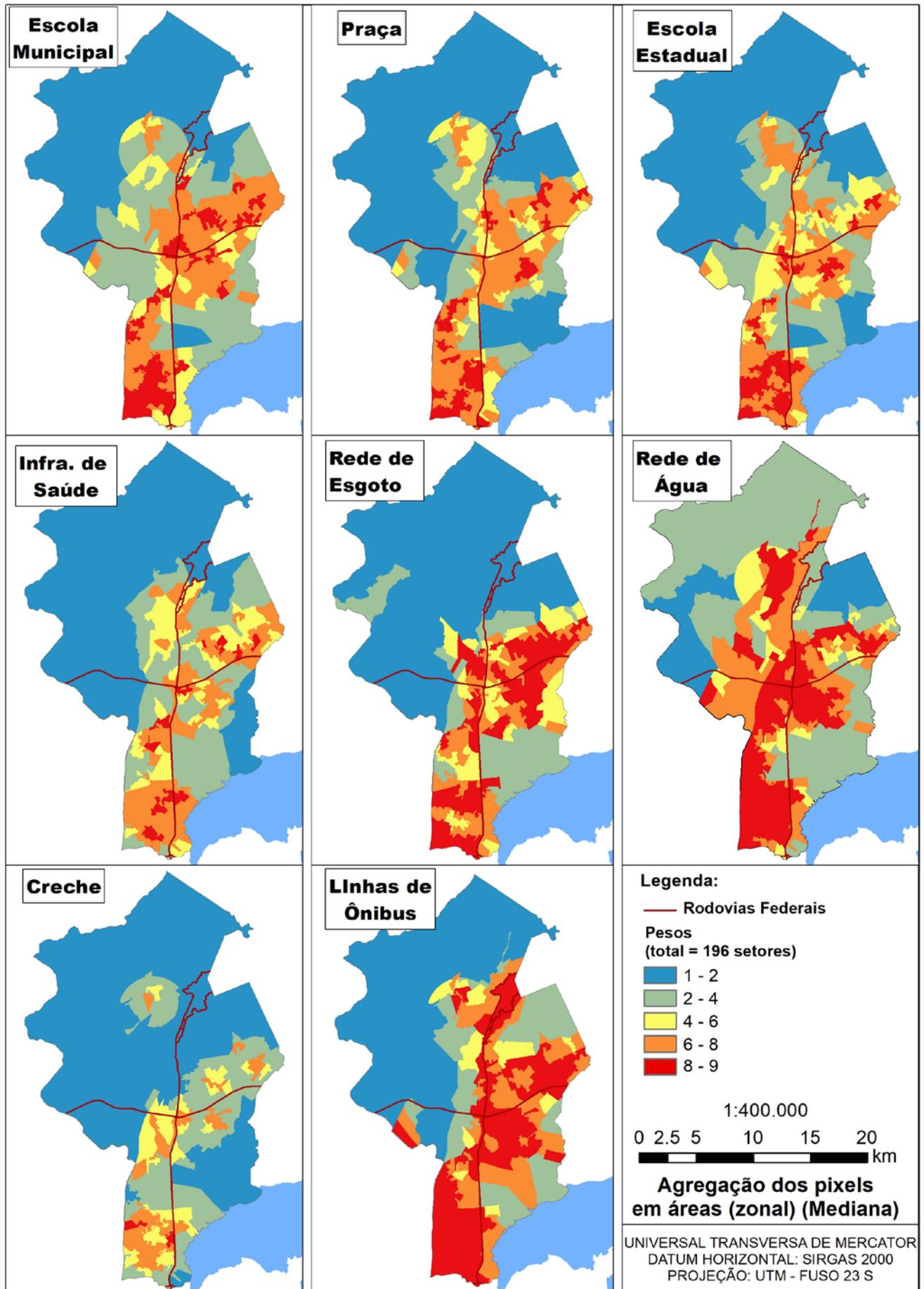


Fig. 6 - Mapa com os pesos definidos pela estatística por zona (Mediana)

Recíproca								
	Ensino Fundamental	Saúde	Creche	Linha de ônibus	Rede de Água	Rede de Esgoto	Ensino médio	Praças
Ensino fund.	1/1	2/1	3/1	3/1	5/1	5/1	7/1	9/1
Saúde	1/2	1/1	2/1	2/1	4/1	4/1	6/1	8/1
Creche	1/3	1/2	1/1	1/1	3/1	3/1	5/1	7/1
Linha de ônibus	1/3	1/2	1/1	1/1	3/1	3/1	5/1	7/1
Rede de água	1/5	1/4	1/3	1/3	1/1	1/1	3/1	5/1
Rede de esgoto	1/5	1/4	1/3	1/3	1/1	1/1	3/1	5/1
Ensino médio	1/7	1/6	1/5	1/5	1/3	1/3	1/1	3/1
Praças	1/9	1/8	1/7	1/7	1/5	1/5	1/3	1/1

Tab 3 - Matriz Recíproca do AHP

Matriz Normalizadora										
	Ensino fund.	Saúde	Creche	Linha ônibus	Rede de água	Rede de Esg.	Ensino médio	Praças	Σ	Pesos
Ensino fund.	0,355	0,417	0,375	0,375	0,285	0,285	0,231	0,200	2,52	0,315
Saúde	0,177	0,209	0,250	0,250	0,228	0,228	0,198	0,178	1,71	0,215
Creche	0,118	0,104	0,125	0,125	0,171	0,171	0,165	0,156	1,13	0,142
Linha de ônibus	0,118	0,104	0,125	0,125	0,171	0,171	0,165	0,156	1,13	0,142
Rede de Água	0,071	0,052	0,042	0,042	0,057	0,057	0,099	0,111	0,53	0,066
Rede de esg.	0,071	0,052	0,042	0,042	0,057	0,057	0,099	0,111	0,53	0,066
Ensino médio	0,051	0,035	0,025	0,025	0,019	0,019	0,033	0,067	0,27	0,034
Praças	0,039	0,026	0,018	0,018	0,011	0,011	0,011	0,022	0,15	0,020

Tab 4 - Matriz Comparativa do AHP

## 7. PONDERAÇÃO (USO DA AHP)

O passo mais importante para a determinação dos pesos no AHP foi a construção da matriz recíproca (tabela 3). Para a construção desta tabela foi preciso determinar os pesos de cada item da matriz, sendo que os pesos foram avaliados dois a dois. A matriz recíproca teve seu fim quando todos os itens da tabela foram avaliados em relação aos outros itens.

A matriz deve ser lida da seguinte forma, tomando por exemplo as escolas de Ensino Fundamental: a comparação com a variável saúde é de 2/1, em relação à creche e linhas de ônibus 3/1, em relação a escolas de ensino médio 7/1 e, por fim, para as praças 9/1. Isso significa dizer, por exemplo, que o Ensino Fundamental é 9 x mais importante do que as praças.

De acordo com a avaliação, a infraestrutura mais importante são as escolas de ensino fundamental, de responsabilidade do município. Em segundo lugar de importância, estão as unidades de saúde, e, em seguida, as creches e as linhas de ônibus. Estas duas infraestruturas estão, até certo ponto, ligadas à questão do emprego.

Em seguida foi calculada a matriz comparativa do AHP com o objetivo de definir os pesos para cada infraestrutura (tabela 4).

A figura 7 apresenta todas as áreas restritas do município, destacadas com a cor laranja e verde, e em branco, as áreas com permissão de ocupação. As unidades de conservação se constituem como áreas importantes para a preservação de remanescentes florestais, além de ajudarem na redução dos problemas das inundações, juntamente com a preservação dos mangues. Em Duque de Caxias, a garantia de preservação destas áreas é vista como prioridade para a administração municipal, e, sendo vital para a redução dos problemas decorrentes das inundações e movimentos de massa.

Toda a parte norte do município é restrita à ocupação devido a Rebio do Tinguá. Na área central do município próximo à baía de Guanabara, encontra-se outra grande área restrita.

ta. Nesta parte do município, estão a APA São Bento, a zona industrial de Campos Elíseos e todo o trecho de mangue na borda da baía de Guanabara.

Do mesmo modo que ocorre com as áreas restritas, os municípios possuem áreas não recomendáveis, que precisam ser indicadas e posteriormente inseridas no modelo. Foram indicadas algumas áreas do município que não possuem restrições claras, entretanto não são recomendáveis, ou possuem limitações quanto ao uso. O mapa da figura 8 apresenta as áreas sujeitas a alagamento segundo o Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR). Foram identificadas ainda as áreas do município indicadas como unidades de conservação de uso sustentável. Essas unidades permitem o uso residencial, mas possuem uma série de exigências e limitações.

Por fim, foi também identificado o bairro Cidade dos Meninos, que ainda possui resquícios da contaminação ocorrida na década de 1950 e 1960 pelo pó de broca. Atualmente, está em elaboração o estudo para a descontaminação dos focos primários e secundários da contaminação do bairro, ainda sem previsão de data para o início do projeto.

Os valores foram inseridos na ferramenta Raster Calculator, do Spatial Analyst. Conforme verificado na metodologia, esta ferramenta tem como objetivo o cálculo das feições em formato matricial, sendo ponderado pelos pesos encontrados no processo anterior, de acordo com a equação 1:

$$(Escola\ Municipal * 0,315) + (Unid\ Saúde * 0,215) + (Creche * 0,142) + (Linha\ de\ Ônibus * 0,142) + (Rede\ de\ Água * 0,066) + (Rede\ de\ Esgoto * 0,066) + (Escola\ Estadual * 0,034) + (Praças * 0,020) * \text{Áreas Restritas} * \text{Áreas não Recomendáveis}$$

Neste caso, cada variável descrita na equação 1 corresponde a um mapa. O produto desta equação resultou, ao final do processo, em uma feição única raster, com valor entre 0 e 9, resultado final da metodologia proposta.

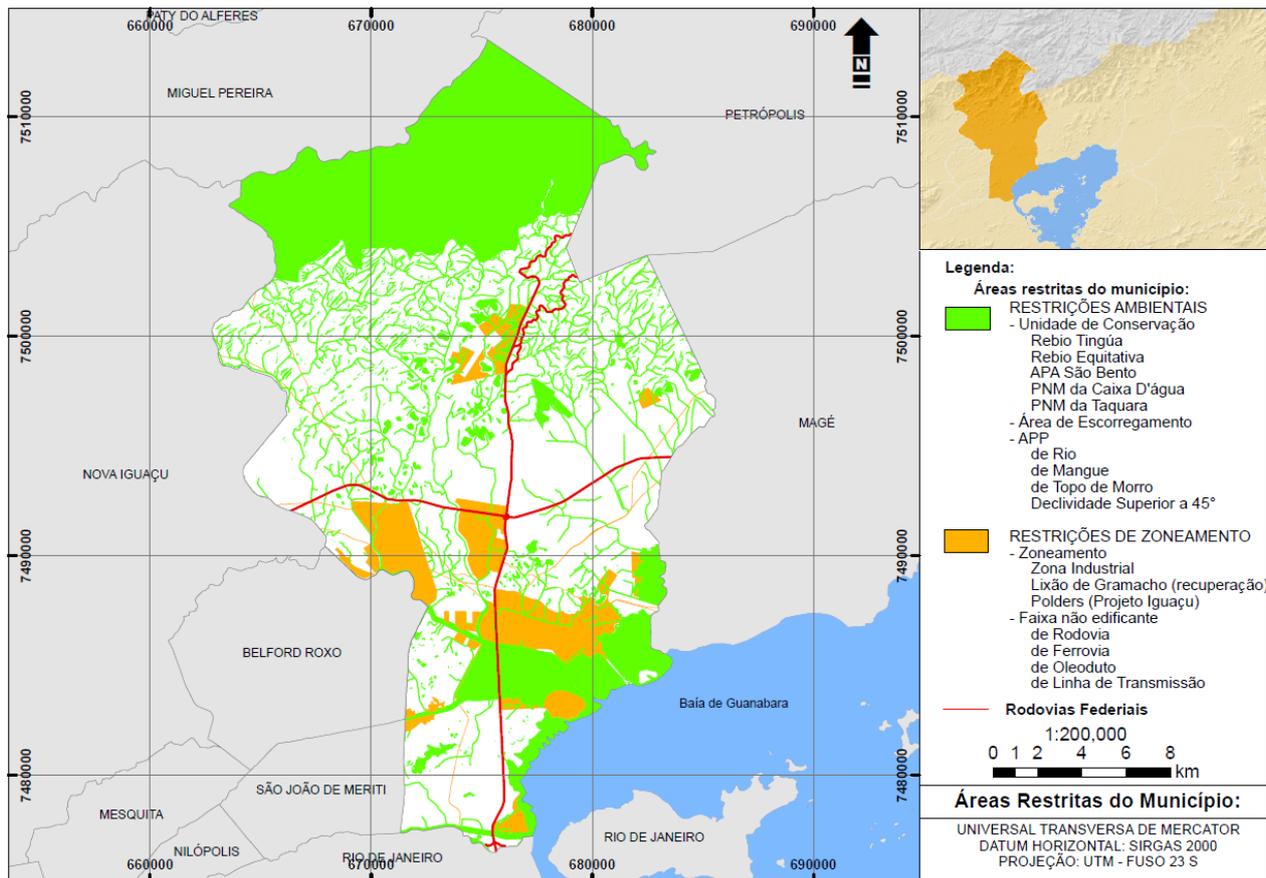


Fig. 7 - Mapa com as áreas restritas do município de Duque de Caxias

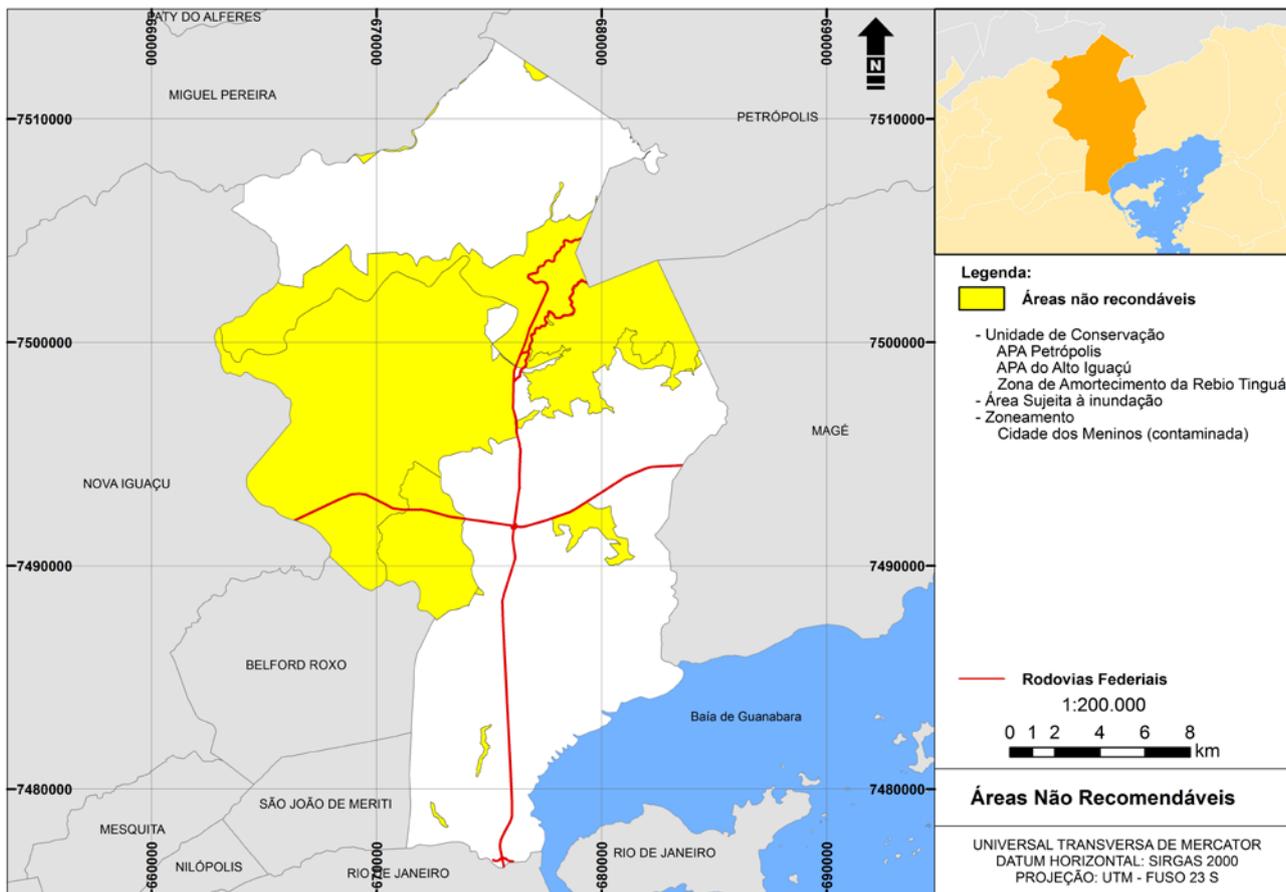


Fig. 8 - Mapa com as áreas não recomendáveis do município de Duque de Caxias

## 8. SÍNTESE DOS RESULTADOS

A síntese dos resultados apresentará o mapa que melhor reflete a realidade do município em relação à infraestrutura, com os dados de áreas restritas e as áreas não recomendáveis. A figura 9 apresenta o resultado detalhado do modelo e aponta três setores com valores acima de 8. Todos esses três setores localizados no primeiro distrito, na parte sul do município. Entretanto, outras áreas do segundo e do terceiro distritos apresentaram resultados acima de 7, também considerados adequados para a indicação de áreas.

O primeiro distrito, que possui a melhor infraestrutura e a maior população, apresenta menor quantidade de rios, pois a maior parte foi canalizada ou perdida. Além disso, apresenta menor quantidade de linhas de transmissão e de oleodutos, sendo o distrito com maior área disponível para a ocupação:

*“Em diversas cidades brasileiras há uma quantidade expressiva e inaceitável de terrenos ociosos no tecido urbano, estocados em geral com fins especulativos [28]. O proprietário aguarda a valorização do lugar, a partir da intervenção, exclusiva e privilegiada, do poder público com a instalação de infraestrutura básica e implantação de equipamentos urbanos essenciais.”*

Para minimizar os danos gerados pelo grande número de terrenos ociosos ou subutilizados, o Estatuto das Cidades, Lei 10.257/2001, cria mecanismos para enfrentar esta situação. Segundo o mesmo autor, o Estatuto trouxe novos instrumentos de gestão para as administrações municipais, através de institutos tributários, financeiros, jurídicos e políticos, no sentido de atender plenamente à função social da propriedade e da cidade. Destaca-se o Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), progressivo no tempo e com desapropriação com pagamento em títulos da dívida pública.

Outro mecanismo de atuação da administração municipal cabível é a localização de terrenos públicos, também ociosos ou subaproveitados. A doação de terreno pelo poder público ainda é fato raro no Programa Minha Casa, Minha Vida, não ultrapassando a 5% dos empreendimentos [29]. Quando o poder público age doando o terreno, caberá ao município à realização de chamamento público para pré-selecionar a construtora e o seu respectivo projeto de intervenção habitacional. A vantagem para o município consiste na possibilidade de se fazer maiores exigências em relação ao projeto, visto que a construtora não arcará com a compra do terreno.

O distrito de Duque de Caxias possui a melhor infraestrutura física e social, conta com as principais rodovias que atravessam o município, além de contar com a linha férrea, sob a concessão da Supervia. A primeira área escolhida fica no bairro de Gramacho entre a linha férrea e a BR-040. Na figura 10 foram criados alguns círculos com o intuito de reforçar a ideia de que este setor, com resultado acima de 8, possui áreas vazias, ou mesmo com alguma possibilidade de serem revertidas para um programa habitacional.

O bairro possui vias importantes, escolas em um número adequado, e rede de abastecimento de água. A rede de esgoto, inexistente nos demais distritos, é um ponto positivo para a escolha dessas regiões.

Apesar de algumas ruas destas regiões não possuírem esgoto, a proximidade com a rede existente propicia que sejam estendidas para atender a um possível empreendimento com custo reduzido. Com base no exposto, é importante atentar para o fato de que, não apenas as áreas com os melhores resultados são as mais adequadas, mas que as áreas limítrofes aos resultados superiores também usufruem desta mesma infraestrutura e, em menor grau, também apresentam viabilidade.

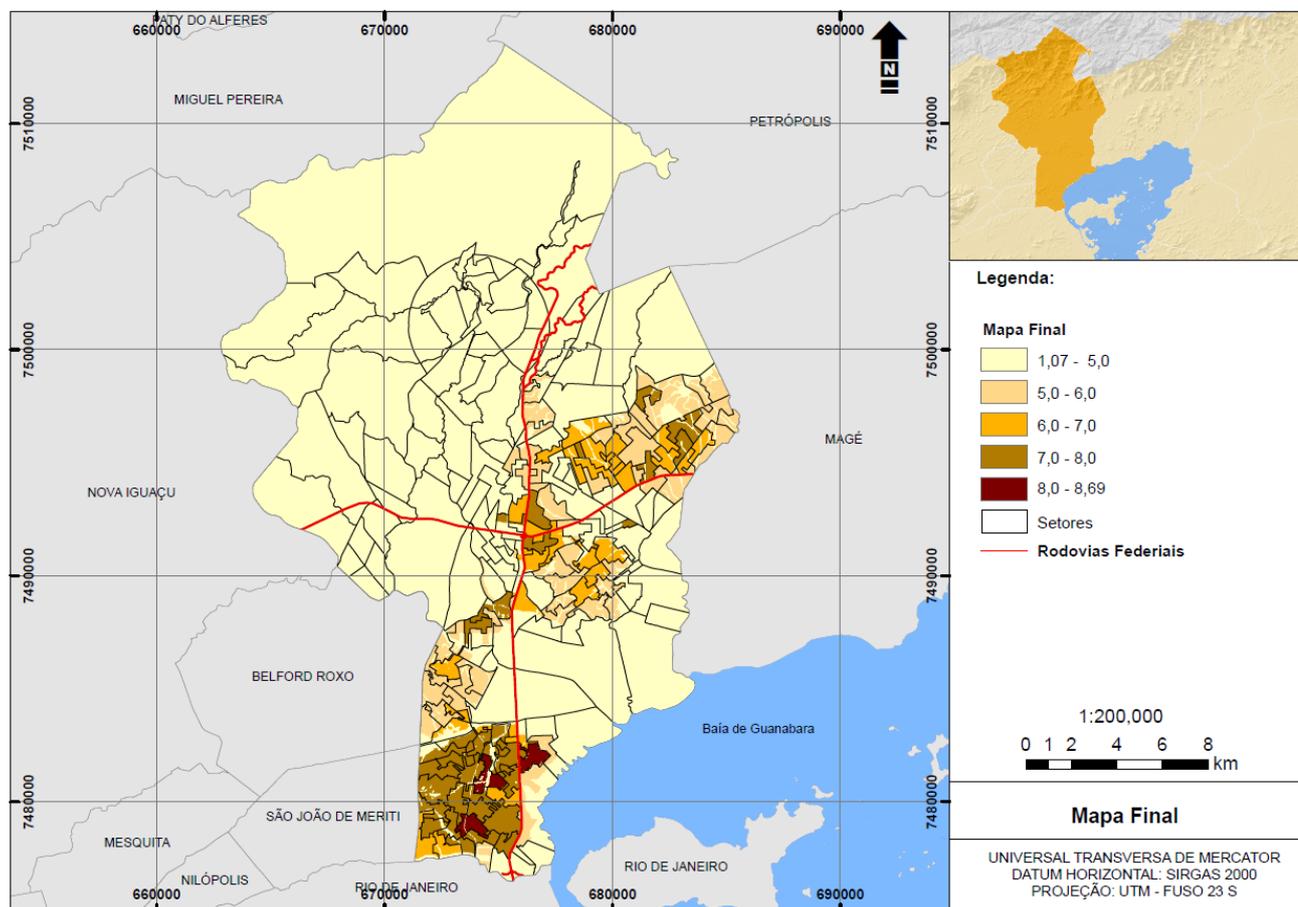


Fig. 9 - Mapa final com as áreas sem permissão para a implementação de projetos habitacionais

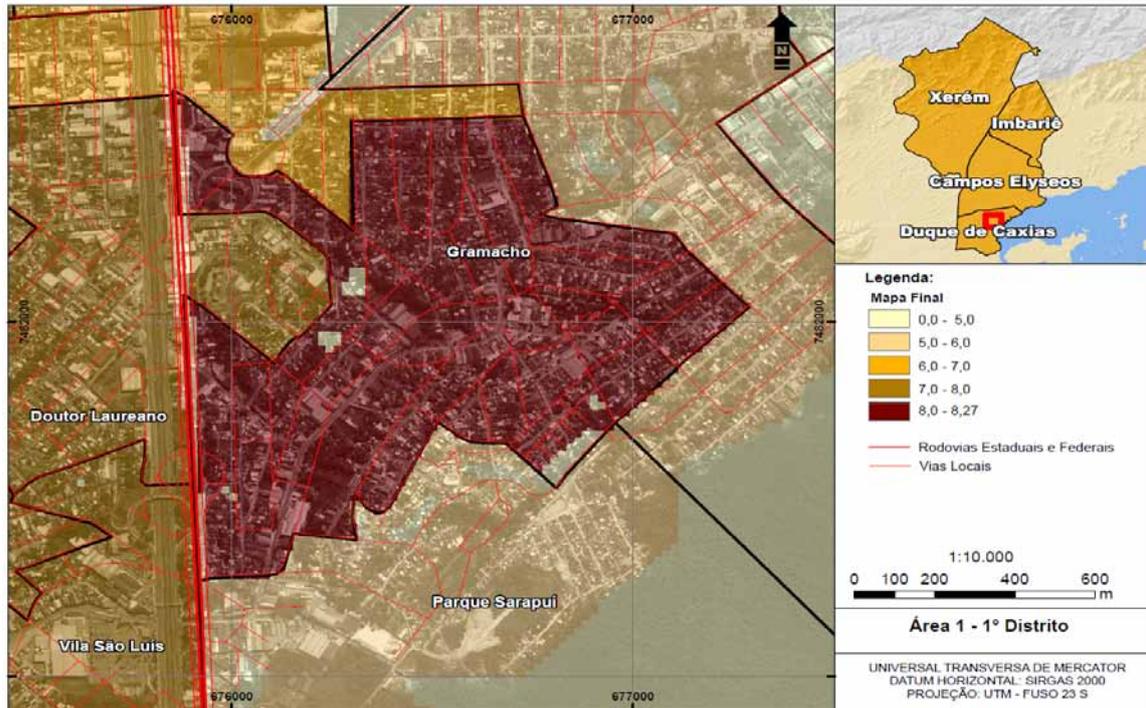


Fig. 10 - 1º Distrito, setores na proximidade do bairro de Gramacho.nais

## 9. VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

O principal motivo da escolha de áreas de baixa densidade para a construção de empreendimentos habitacionais está no valor reduzido dos terrenos. De todo modo, estes terrenos possuem menor infraestrutura, pior mobilidade e, em alguns casos, o terreno localiza-se em áreas sujeitas a alagamento. Cabe ao município reverter esse problema e indicar as áreas adequadas para a construção dos empreendimentos.

Dentre os condomínios entregues ou em fase de construção, com a demanda já indicada, alguns destacam-se alguns com grande rejeição, segundo informações fornecidas pelos funcionários da Subsecretaria de Habitação de Duque de Caxias. Em geral, seu maior problema consiste no isolamento do condomínio e na dificuldade de acesso a serviços públicos e linhas de ônibus (figura 11). Apenas um condomínio em

fase de construção possui melhor aceitação dos futuros moradores: o condomínio São Bento I, localizado na Av. Leonel Brizola (RJ-101). Além de estar em uma área integrada à malha urbana, foi o empreendimento localizado em um setor com maior valor determinado no modelo. O empreendimento São Bento I teve como resultado o valor de 6.45, sendo 9 o valor máximo. Dentre os condomínios entregues, todos tiveram resultados baixos em relação à infraestrutura. De acordo com o modelo proposto, eles tiveram como resultados 2.3, 4.9 e 5.79. Já entre os condomínios em construção, os resultados foram 4.8, 5.6 e o condomínio São Bento I, 6.45.

O fato de este empreendimento ser aquele com melhor aceitação dos moradores, ou futuros moradores, reforça que o modelo se mostrou adequado em relação à percepção que se tem do município de Duque de Caxias.

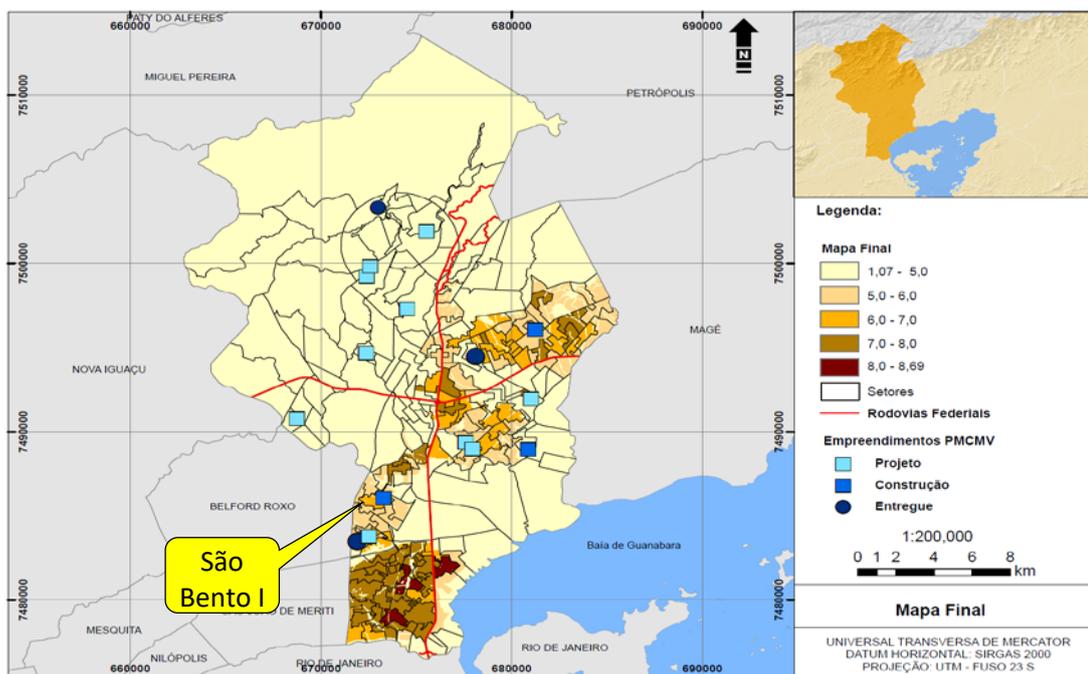


Fig. 11 - Localização dos empreendimentos MCMV com os resultados do modelo

## 10. CONCLUSÃO

A pesquisa realizada permitiu verificar que o AHP é um método adequado para a verificação de áreas propícias para a construção de habitações de interesse social, pois permite atribuir, de maneira racional, uma avaliação das melhores áreas. Não cabe neste artigo propor terrenos para a construção de habitação de interesse social, mas ao município, o levantamento dos terrenos e dos trâmites legais para orientar tais construções.

As áreas com maior infraestrutura são as áreas mais adequadas para a construção de empreendimentos voltados para a habitação de interesse social. Porém, consistem em áreas de maior densidade e já bastante consolidadas. De todo modo, ainda é possível encontrar terrenos vazios que podem ser revertidos para habitação social e em alguns casos é possível, inclusive, encontrar terrenos públicos. Mesmo que as áreas com valor elevado não tenham condições de receber um empreendimento, os terrenos limítrofes a estas podem ser um destino favorável para a construção de habitações de interesse social. Estas áreas tendem a se caracterizar por menores densidades demográficas, menor valor da terra, e, ao receber um empreendimento habitacional, terão uma necessidade menor de investimento em infraestrutura para se chegar a um nível adequado em relação às infraestruturas básicas.

Um projeto habitacional em uma área de expansão urbana só terá êxito se estiver conjugado à ampliação da infraestrutura viária, à melhoria do nível educacional, a projetos de geração de emprego e renda e ao aumento da oportunidade de emprego.

Como contrário, o projeto habitacional se tornará um empecilho para a mudança da realidade social das famílias e um problema para a gestão do município, servindo apenas para a ampliação dos lucros das construtoras, perpetuando a segregação espacial no município.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Déficit Habitacional no Brasil. Belo Horizonte/MG. 2000.
- [2] BRASIL. Lei nº 11.977 de 2009. Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 2009.
- [3] BRASIL. Lei nº 4.380 de 1964. Institui a correção monetária nos contratos imobiliários de interesse social, o sistema financeiro para aquisição da casa própria, cria o Banco Nacional da Habitação (BNH). Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 1964.
- [4] SAATY, T. L. Método de Análise Hierárquica. São Paulo/SP, MacGrow-Hill, Makron. 1991.
- [5] DUQUE DE CAXIAS. Plano Local de Habitação de Interesse Social. RJ. 2014.
- [6] BRASIL. Lei nº 10.257 de 2001. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 2001.
- [7] BRASIL. Lei nº 12.424 de 2011. Altera a Lei nº 11.977, de 7 de julho de 2009, que dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida - PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 2011.
- [8] BRASIL. Lei nº 6.766 de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 1979.
- [9] BRASIL. Decreto nº 97.780 de 1989. Dispõe sobre a criação da Reserva Biológica do Tinguá, Brasília, DF. 1989.
- [10] BRASIL. Decreto nº 592 de 1992. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental da Região Serrana de Petrópolis (APA Petrópolis). Brasília, DF. 1992.
- [11] BRASIL. Lei nº 9985 de 2000. Dispõe sobre a criação do SNUC, Sistema Nacional de Unidade de Conservação. Brasília, DF. 2000.
- [12] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 303 de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Brasília, DF. 2002.
- [13] BRASIL. Lei nº 11.124 de 2005. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social, cria o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social – FNHIS e institui o Conselho Gestor do FNHIS. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 2005.
- [14] BRASIL. Ministério das Cidades. Portaria nº 465 de 2011. Dispõe sobre as diretrizes gerais para aquisição e alienação de imóveis por meio da transferência de recursos ao Fundo de Arrendamento Residencial - FAR. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 2011.
- [15] BRASIL. Lei nº 12.651 de 2012. Dispõe sobre a elaboração do Novo Código Florestal, Brasília, DF. 2012.
- [16] RIO DE JANEIRO (Estado). Projeto BRA/93/022. Cria o Projeto Iguazu. Rio de Janeiro. 2008.
- [17] RIO DE JANEIRO (Estado). Decreto 44.032 de 2013. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental do Alto Iguazu. Rio de Janeiro. 2013.
- [18] DUQUE DE CAXIAS. Plano Municipal de Redução de Riscos. RJ. 2014.
- [19] ROLNIK, R., NAKANO, A. K. Direito à moradia ou salvação do setor? Folha de São Paulo, São Paulo/SP. 2009.
- [20] FERREIRA, C. M. Iniciação a Análise Geoespacial: Teoria, Técnica e Exemplos para Geoprocessamento. 1ª Ed. São Paulo, SP. Editora Unesp. 2014.
- [21] IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA Censo Demográfico - 2010. Rio de Janeiro. (2010). Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em: 22 out 2014.
- [22] CÂMARA, G., DAVIS, C., MONTEIRO, A. M. V. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos/SP. 2004. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/>. Acesso em: 12 nov 2014.
- [23] TOMLIN, D. Geographic Information Systems and Cartographic Modeling. Prentice Hall, New York. 1990.
- [24] BURROUGH, Peter A.; MCDONNELL, Rachael A. Principles of Geographical Information Systems. OXFORD UNIVERSITY PRESS. 1998.
- [25] RIO DE JANEIRO (Município). Curso para gestores municipais: M.B.E Economia e Gestão da Sustentabilidade, com ênfase em Projetos de Habitação de Interesse Social. Rio de Janeiro. RJ. 2015.
- [26] SILVA, L. R. A. da; MANDARINO, F. C.; SILVA, L. de C. V. da; JUNIOR, J. G.; SOUZA, L. G. Ferramenta SIG de cálculo de estimativa populacional para o planejamento urbano na cidade do Rio de Janeiro. In: Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR. 2013.
- [27] SILVA, A. W. F. Transformações Urbanísticas em um bairro planejado: O caso do Projeto Habitacional Mangabeira em João Pessoa - PB. Dissertação apresentada no Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana - João Pessoa. 2005.
- [28] BACHIEGA, C. A. Desenvolvimento Urbano. 2007. Disponível em: [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:lvFi121cyzEJ:www.tvjoaomangabeira.com.br/images/stories/Gesto\\_publica/Modulo\\_II/aula\\_III/Texto\\_Ref\\_Modulo\\_II\\_Aula-03.doc+&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:lvFi121cyzEJ:www.tvjoaomangabeira.com.br/images/stories/Gesto_publica/Modulo_II/aula_III/Texto_Ref_Modulo_II_Aula-03.doc+&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br). Acesso em: 12 nov 2014.
- [29] TCU - TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO Relatório de Auditoria

# Sistemas fuzzy complementam a detecção de socialbots por aprendizado de máquina

Carla C. Pacheco<sup>a\*</sup>, Alex Garcia, Raphael Machado<sup>b</sup> e Ronaldo M. Salles<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil.  
Praça General Tibúrcio, 80, 22290-270, Praia Vermelha  
Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>b</sup>Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, Diretoria de Metrologia Científica e Tecnologia  
Rua Santa Alexandrina, 416,  
Rio de Janeiro, RJ, Brasil,  
carlapacheco@globo.com

**RESUMO:** A detecção de socialbots em Redes Sociais Online tem sido objeto de diversos estudos baseados em aprendizado de máquina. Este trabalho apresenta o uso de um comitê de classificadores para melhorar a acurácia da identificação de socialbots. O comitê associa o conhecimento obtido por algoritmos de aprendizado de máquina ao conhecimento heurístico humano, obtido por entrevistas e formalizado por regras fuzzy. Os resultados mostram que estas abordagens são complementares, uma vez que o uso conjunto destes algoritmos em um comitê apresenta uma acurácia acima de 93%, maior do que os mesmos algoritmos utilizados isoladamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Redes Sociais, Detecção de Socialbot, Aprendizado de Máquina, Lógica Fuzzy, Comitê de Classificação.

**ABSTRACT:** Machine learning has been widely used in the detection of socialbots in Online Social Networks. This paper presents the use of an algorithm committee to improve the accuracy of socialbots identification. The committee combines the knowledge obtained by machine learning algorithms and human heuristic knowledge obtained through interviews and formalized in fuzzy rules. Results show that these approaches are complementary, since their use in a single committee presents accuracy above 93%, better than each of the algorithms independently.

**KEYWORDS:** Social Networks, Detection of Socialbot, Machine Learning, Fuzzy Logic, Ensemble Learning

## 1. INTRODUÇÃO

Problemas como influência em processos eleitorais e propagação de notícias falsas ganharam destaque recente nas mídias de comunicação. A detecção automática de *socialbots* é um caminho para resolver estes problemas. *Socialbots* são contas nas Redes Sociais *Online* (RSO) controladas automaticamente e projetadas para serem parecidas com usuários reais [1]. A existência destes robôs influenciou artigos e pesquisas em áreas como eleições ([2] e [3]), previsões no mercado de ações [4] e a percepção da comunicação de agentes humanos e *socialbots* [5]. Este assunto é de importância fundamental para a segurança cibernética e, até mesmo, para a segurança nacional.

Em um relatório recente do Twitter [6], esta rede social afirma que pelo menos 5% de suas contas são totalmente automatizadas, ou seja, um número maior do que 16,5 milhões de contas no ano de 2017. Diversos trabalhos sobre detecção de *socialbots* utilizam algoritmos de aprendizado de máquina e, muitas vezes, do tipo supervisionado. Neste cenário, um dos requisitos que se faz necessário é a existência de uma base de dados com contas rotuladas como humano ou *socialbot*.

Ao iniciar os trabalhos de detecção de *socialbots* usando aprendizado de máquina os autores detectaram problemas de qualidade com as bases rotuladas disponíveis para pesquisa. Os problemas principais eram a dúvida sobre a correção da rotulação e a diversidade das contas presentes nas bases. Em [7], os autores apresentam uma discussão sobre a correção do processo de rotulação das contas e a diversidade de humanos e *socialbots* presentes nas bases existentes. Adicionalmente, apresentam uma metodologia para construção de bases de dados rotuladas com qualidade garantida. Esta metodologia foi usada para produzir uma base com postagens públicas no Twitter relacionadas às Olimpíadas Rio 2016, chamada de Base *Olympics*.

Outra vantagem da utilização da metodologia apresentada em [7], é a identificação dos melhores juizes que realizaram o processo de rotulação de contas [8]. Como continuidade do estudo desenvolvido no referido artigo, foi feita a identificação dos dois juizes mais bem avaliados que, então, foram escolhidos para a realização de entrevistas para a extração do seu conhecimento. Posteriormente este conhecimento foi formalizado na Lógica *Fuzzy* [9].

O Sistema Fuzzy resultante apresentou acurácia próxima a 85% para ambas as classes, humano e *socialbot*. O experimento foi realizado em uma base de dados balanceada, composta por 2500 contas, incluindo as da Base *Olympics* e as de outros trabalhos para contemplar *socialbots* de diversos tipos. Em seguida, este sistema foi agregado a um comitê composto por quatro algoritmos de aprendizado de máquina, cuja tomada de decisão escolhida foi o por voto por maioria. Foram escolhidos algoritmos de diferente natureza para compor o comitê: árvores de decisão, tabela de decisão, redes neurais e FURIA, além do algoritmo fuzzy com conhecimento humano obtido por entrevistas. O algoritmo FURIA também produz regras fuzzy, entretanto as regras representam conhecimento induzido a partir dos dados. O único sistema que trabalha com conhecimento heurístico humano foi o de regras fuzzy obtidas por entrevista.

Como resultado, este comitê de cinco algoritmos obteve um desempenho com acurácia próxima a 94%, superando cada membro do comitê individualmente e o comitê formado apenas pelos quatro outros algoritmos, comprovando que o Sistema Fuzzy contribuiu para a melhoria do desempenho final do comitê.

Este artigo está dividido da seguinte forma: na Seção 2, são apresentados os trabalhos relacionados; na Seção 3, está descrito o processo de construção da base de dados; a Seção 4 apresenta informações sobre a construção do sistema *fuzzy* para classificação das contas no Twitter; na Seção 5, são apresentados os resultados do comitê composto pelos algo-

ritmos de aprendizado de máquina e pelo Sistema Fuzzy; a Seção 6 conclui e apresenta os trabalhos futuros.

## 2. TRABALHOS RELACIONADOS

Este trabalho inicia, apresentando outras pesquisas sobre a detecção de *socialbots* com a utilização de atributos quantitativos e aprendizado supervisionado. Benevenuto et al. [10] utilizaram o algoritmo SVM (descrito em [11]) que processou 23 atributos de usuário e 39 de *tweet*, resultando em aproximadamente 70% de acurácia para *socialbots* e em 96% para contas legítimas. Os autores apresentam uma discussão sobre o conjunto de atributos utilizado nos experimentos, argumentando que os menos significantes podem contribuir para o processo de classificação. A partir destes resultados, pode-se inferir que o modelo gerado por este algoritmo tende a classificar as contas como humanos.

Freitas et al. [12] basearam seu estudo no de Zhang e Paxson [13], porém consideraram mais atributos, divididos em três categorias: usuário, conteúdo e linguística. Freitas et al. utilizaram a base de dados de Cha et al. [14] e consideraram as contas com, no mínimo, 30 *tweets*, resultando em mais de 110 mil contas e quase 43 milhões de *tweets*. Foi utilizado o algoritmo *Random Forests* (descrito em [15]), com validação cruzada (CV) em 20 partições, que obteve resultados de 95% AUROC (Área sob a curva ROC).

De uma maneira diferente, Zhang e Paxson coletaram sua própria base composta pelo único atributo de *timestamp* de *tweets* públicos e, então, aplicaram o teste  $\chi^2$  de Pearson aos conjuntos de valores de minutos e de segundos com a finalidade de classificar as contas. Se o valor  $p$  retornado for alto, indica que os *tweets* são publicados com uma uniformidade não esperada de um humano. Os autores estimaram que 16% das contas ativas, na época, apresentaram alto grau de automatização, ou seja, eram de *socialbots*. Pode-se inferir que o *timestamp* do *tweet* parece ser um atributo importante a ser considerado na classificação de *socialbots*.

Lee et al. [16] consideraram contas com 200 ou mais *tweets* em uma base composta por mais de 5 milhões de *tweets* e 40 mil contas. Assim como em outros estudos, os classificadores baseados em árvores apresentaram os melhores resultados, especialmente o *Random Forests*, com mais de 98% de acurácia em conjunto de dados dividido em 10 partições com CV. Seguindo a mesma linha baseada em árvore de decisão, Cresci et al., em três de seus trabalhos [17], [18] e [19], procuraram detectar *fake followers*.

Em [18], foi empregado um classificador baseado em árvore de decisão. Os demais estudos ([17] e [19]) contaram com mais quatro bases de dados que foram consolidadas em uma única base balanceada com 3.900 contas e mais de 2,75 milhões de *tweets*. Estas contas pertenceram a *socialbots* e usuários legítimos em igual proporção. Novamente, o *Random Forests* apresentou o melhor desempenho com 99% de acurácia.

O trabalho de Ferrara et al. [20] indica o nível de atividade automatizada de uma conta, através da utilização de um conjunto de algoritmos que processa 1.150 características (detalhadas em Varol et al. [21]). Os autores alegam terem alcançado o resultado de 95% AUROC em uma base de Lee et al. [16], composta por mais de 30 mil contas. Este método de detecção é utilizado pela aplicação *web* “*Botometer*” [22], a qual foi testada por Haustein et al. [23] para classificar contas como *socialbots* e humanos. Os resultados destes testes

mostraram que ambos os tipos de contas foram classificados incorretamente, onde os *socialbots* foram classificados como humanos, indicando uma tendência desta ferramenta a considerar qualquer conta como humano. À luz da constatação de Haustein et al., foram realizados testes nesta ferramenta com os *socialbots* listados em [24] e [25]. Novamente, quase todos foram classificados como humanos.

A ferramenta de Ferrara et al. foi utilizada para classificar uma base de dados composta por até 3 mil contas coletadas, no trabalho de Varol et al. [21]. O resultado da ferramenta foi de 89% AUROC, enquanto que a classificação manual alcançou apenas 86% de acurácia. O trabalho de Gilani et al. [26] também submeteu contas manualmente classificadas a esta mesma ferramenta e reportam baixa acurácia (entre 40% e 60%).

Nove algoritmos de aprendizado de máquina foram utilizados por Alarifi et al. [27] para classificar 3.020 contas manualmente rotuladas, em dois experimentos. O primeiro foi composto por duas classes (humano ou *socialbot*) e apresentou valores de acurácia compreendidos entre 80% e 91%. Já o segundo experimento considerou três classes (humano, *socialbot* ou híbrida) com valores de acurácia variando de 61% até 88%. Uma análise mais aprofundada dos trabalhos supracitados encontra-se em Pacheco [28].

Encontramos um único trabalho relacionado ao uso de lógica *fuzzy* para detecção de *socialbots*, Sadiq et al. [29], que utilizou lógica *fuzzy* e a comparou com outros classificadores, como o “*Botometer*”, por exemplo. Vale ressaltar que este estudo, em particular, utilizou 3 mil contas de *socialbots* que foram compradas para comporem a base de dados de contas do Twitter. Esta abordagem para composição da base de dados pode ser considerada tendenciosa para a geração de modelos de detecção de *socialbots*, pois há uma prevalência de um mesmo tipo de *socialbot* na base.

## 3. AQUISIÇÃO DA BASE DE DADOS

Foi utilizada uma nova base de dados no presente estudo, a Olympics, coletada no período pré-olímpico de 2016 (Pacheco [28]). A escolha do tema possibilitou que fossem trabalhados com novos atributos, dados atuais e *tweets* em múltiplos idiomas. Por ser uma base nova, foi possível aplicar a metodologia descrita em [7], que oferece garantia na qualidade da base de dados rotulada. Para coletar os dados de usuários e *tweets*, foi utilizada a API gratuita do Twitter [31] que contém uma série de limitações.

A metodologia [7] consiste em alguns passos, iniciando pela definição das opções de rótulos e de juízes que fazem a rotulação da base, que é dividida em subconjuntos para distribuição entre os juízes. Então, a concordância entre os juízes é avaliada para cada subconjunto rotulado. Caso um subconjunto apresente um valor inferior a um limite (escolhido pelo pesquisador), este subconjunto deve ser rotulado novamente por outros juízes ou, então, descartado. Para os subconjuntos com concordância satisfatória, são aproveitadas apenas as contas para as quais há concordância na rotulação. Ao final, é realizada a avaliação relativa dos juízes, atribuindo-lhes uma nota quantitativa.

Ao final do processo, foram coletadas 4.011 contas com perfil público. Após a filtragem de contas com 30 ou mais *tweets*, a base apresentou 3.825 contas para serem rotuladas. Os dados coletados compuseram uma base com mais de 10 milhões de *tweets*. Para processar e consolidar estes dados,

foram calculados e extraídos atributos estatísticos e de entropia. Alguns trabalhos relacionados utilizaram, analogamente, alguns destes atributos quantitativos, como [18], [19], [1], [10] e [21].

O processo de rotulação foi feito através da metodologia descrita em [7]. As contas foram divididas em 18 conjuntos com 200 contas e 1 conjunto com 225 contas. Cada conjunto foi rotulado por 2 juizes. A concordância entre os juizes foi avaliada usando o índice Kappa de Cohen. Três conjuntos que tiveram o índice inferior a 0,30 foram reclassificados para se enquadrarem no critério de qualidade. Foram atribuídas notas aos juizes de acordo com sua contribuição [7]. Os dois juizes do melhor conjunto rotulado obtiveram notas 0,416 e 0,280, respectivamente.

Uma vez identificados os melhores juizes, procurou-se extrair seu conhecimento por meio de entrevistas. As entrevistas foram conduzidas de maneira a permitir que os melhores juizes validassem o conhecimento prévio, contribuissem com novos conhecimentos e elucidassem hipóteses e conhecimentos parciais. Desta forma, regras e conjuntos do Sistema Fuzzy puderam ser escritos e testados na base *Olympics* já rotulada. Por estas razões, a utilização da metodologia contribuiu em três frentes: a qualidade dos dados que serviram para treinamento dos algoritmos de aprendizado de máquina, a criação de novos atributos (em função de critérios mencionados na entrevista) e a composição de regras e conjuntos do Sistema Fuzzy.

#### 4. SISTEMA FUZZY PARA DETECÇÃO DE SOCIAL-BOTS

A metodologia utilizada permitiu a identificação dos melhores juizes, que foram entrevistados e seu conhecimento formalizado em regras que compuseram um Sistema Fuzzy para detecção de *socialbots*. O maior desafio no processo da construção do sistema *fuzzy* foi o de transpor o conhecimento dos juizes que é representado por termos linguísticos informais para valores escalares no sistema. Por isso, a condução da entrevista por uma pesquisadora experiente foi fundamental para o sucesso da construção do Sistema Fuzzy.

O Sistema Fuzzy foi implementado na linguagem Java com a biblioteca *jFuzzyLogic* [32] e foi projetado com 16 variáveis de entrada, 1 variável de saída e 28 regras. As regras mais simples, com apenas uma ou duas variáveis, foram as mais difíceis de serem identificadas, pois demandaram a consolidação de conhecimentos de várias fontes. O processo de composição das regras *fuzzy* incluiu abordagem empírica de observação e rotulação manual das contas, análise dos dados consolidados e extração do conhecimento dos juizes.

Apesar dos dois melhores juizes apresentarem um nível de concordância próximo a 100%, a entrevista realizada com ambos revelou que suas percepções sobre as contas foram diferentes. Estes pontos de vista distintos enriqueceram as entrevistas, contribuindo para a criação de regras complementares, que melhoraram a precisão do Sistema Fuzzy. Este processo é análogo ao processo cognitivo de tomada de decisão do ser humano.

Algumas opiniões de um juiz foram confirmadas pelo outro e isso facilitou o projeto das regras, como, por exemplo, a frequência de postagem de uma conta. Quando um usuário faz postagens intensivamente, é um indicio de que se trata de um *socialbot*. Durante a codificação da regra, observou-se que a entropia do intervalo entre *tweets* é um indicador

melhor do que o intervalo médio ou outras medidas estatísticas. Quando o valor da entropia do intervalo entre *tweets* está abaixo de um determinado limiar, a conta é considerada um “*socialbot*”. Este é um típico exemplo de uma regra simples para inferência de um *socialbot*. As regras geradas e a definição dos atributos de entrada e saída encontram-se em Pacheco [28].

Outro exemplo é a razão entre a quantidade de seguidores de um usuário e a quantidade de contas que um usuário segue. Quando esta razão é muito alta ou baixa demais, a conta pode pertencer a um “*socialbot*”. O critério de ser ‘alto’ é subjetivo e esclarecido, em parte, pela entrevista. O fato é que é extremamente difícil construir regras conclusivas. A combinação das regras é determinante para a classificação eficiente das contas. Para que isso aconteça, diversos aspectos devem ser analisados e mapeados.

Ao final do processo de geração do Sistema Fuzzy, foi realizado um teste com uma base de dados balanceada composta por 2.500 contas, com igual número de humanos e de *socialbots*, uma vez que a base *Olympics* é representativa e apresenta quantidades discrepantes de *humanos* e *socialbots*, o que pode gerar vieses em alguns algoritmos. Optamos por realizar o balanceamento desta base para contornar a raridade da classe *socialbot* e evitar tais tendências, adicionando *socialbots* e reduzindo a quantidade de *humanos*, escolhidos dentre os melhores conjuntos rotulados. Os dados da base balanceada foram obtidos de três fontes distintas: 1.250 *humanos* e 255 *socialbots* da base *Olympics*, 229 *socialbots* de Cresci et al. [19] e 766 *socialbots* de Lee et al. [16]. Desta maneira, a base rotulada (base *Olympics*) corresponde a 60% da base balanceada e todas as suas contas possuem 30 ou mais *tweets* coletados.

**Tab1:** Matriz de confusão com acurácia do Sistema Fuzzy na classificação da base balanceada

Humano	Socialbot	Classificado como	Acurácia
1.088	156	Humano	87,28%
162	1.094	Socialbot	

O total de acertos do Sistema Fuzzy foi de 2.182 contas, sendo 1.088 humanos e 1.094 *socialbots* corretamente classificados, conforme a matriz de confusão na Tabela 1. O percentual de acertos de *socialbots* superou o de humanos, o que mostra que o Sistema Fuzzy tende a classificar *socialbots* como “*socialbots*” e não como humanos, como é o caso de outras ferramentas já mencionadas.

#### 5. COMITÊ DE CLASSIFICADORES

Para estudar o uso do Sistema Fuzzy em conjunto com algoritmos de aprendizado de máquina, criamos um comitê de algoritmos para detecção de *socialbots*. Este comitê foi composto por quatro algoritmos de aprendizado de máquina e pelo Sistema Fuzzy apresentado na seção anterior.

Os quatro algoritmos de aprendizado de máquina escolhidos foram representantes de famílias distintas: *Random Forests* (RF), baseado em árvore de decisão [15]; *Decision Table* (DT) que constrói e utiliza um simples classificador de tabela de decisão [33]; Redes Neurais Artificiais (RNAs), com método de otimização BFGS para minimizar o erro da função de custo [34]; e o *Fuzzy Unordered Rule Induction Algorithm* (FURIA) proposto por Hühn e Hüllermeier [30] que aprende regras *fuzzy* a partir dos dados.

**Tab 2:** Matriz de confusão com acurácia dos algoritmos de aprendizado sobre a base balanceada

Algoritmo	Humano	Socialbot	Classificado	Acurácia
Random Forests	1.173	92	Humano	93,24%
	77	1.158	Socialbot	
Redes Neurais Artificiais	1.153	85	Humano	92,72%
	97	1.165	Socialbot	
Tabela de Decisão	1.153	117	Humano	91,44%
	97	1.133	Socialbot	
FURIA	1.189	106	Humano	93,32%
	61	1.144	Socialbot	

Estes algoritmos foram escolhidos porque ajudaram na análise dos atributos que compuseram o Sistema Fuzzy construído e são representantes de técnicas bem diferentes entre si. Os resultados da Tabela 2 mostram o desempenho individual de cada um dos algoritmos de aprendizado na base balanceada. Observamos que estes resultados são melhores do que o apresentado pelo Sistema Fuzzy (ver Tabela 1), onde o FURIA apresentou o melhor desempenho. Estes quatro algoritmos foram implementados no *framework* Weka [35] com seus parâmetros padrão.

Devido ao uso de validação cruzada levar um algoritmo a ter um desempenho maior quando comparado ao uso em conjuntos de treino e teste, optou-se por utilizar a segunda estratégia por ser a mais parecida com a utilização de um comitê de classificação de *socialbots* em um ambiente real. Para fins de avaliação do comportamento do comitê, todos os algoritmos utilizaram um conjunto de treino disjuncto do conjunto de teste.

Para avaliar a contribuição positiva do Sistema Fuzzy ao comitê, foram testadas as seguintes variações do comitê:

Comitê Original: os quatro algoritmos de aprendizado junto com o Sistema Fuzzy.

Varição 1: apenas os quatro algoritmos de aprendizado de máquina (empates foram considerados *não-socialbots*, que, neste caso, são *humanos*), sem o Sistema Fuzzy.

Varição 2: os mesmos quatro algoritmos, onde o *FURIA* (algoritmo com melhor acurácia) passou a ter peso 2.

**Tab 3:** Matriz de confusão com acurácia de três versões do comitê na classificação da base balanceada

Comitê	Humano	Socialbot	Classificado como	Acurácia
Original	1.182	94	Humano	93,76%
	68	1.156	Socialbot	
Varição 1	1159	78	Humano	93,72%
	91	1.172	Socialbot	
Varição 2	1.179	94	Humano	93,64%
	71	1.156	Socialbot	

A matriz de confusão das três versões do comitê está na Tabela 3. A Tabela 4 apresenta outras métricas de desempenho dos comitês e dos algoritmos individuais, mostrando que o seu desempenho superou os 90% nas métricas de precisão, abrangência e F1 em testes preliminares com validação cruzada. Mesmo apresentando a menor acurácia entre os algoritmos usados, o Sistema Fuzzy contribuiu positivamente para o comitê, pois a acurácia do comitê original superou a acurácia das duas variações. Conjecturamos que a contribuição está relacionada ao fato do Sistema Fuzzy trabalhar com conhecimento humano formalizado, enquanto que os demais algoritmos trabalham com conhecimento obtido a partir dos

dados (conhecimento induzido).

**Tab4:** Métricas dos algoritmos e comitês

Algoritmo / Comitê	Precisão	Abrangência	F1	Classe
Sistema Fuzzy	87,45%	87,04%	87,24%	Humano
	87,10%	87,52%	87,31%	Socialbot
DT	90,79%	92,24%	91,51%	Humano
	92,11%	90,64%	91,37%	Socialbot
RNAs	93,13%	92,24%	92,68%	Humano
	92,31%	93,20%	92,75%	Socialbot
RF	92,73%	93,84%	93,28%	Humano
	93,77%	92,64%	93,20%	Socialbot
FURIA	91,82%	95,12%	93,44%	Humano
	94,94%	91,52%	93,20%	Socialbot
C. Variação 2	92,62%	94,32%	93,46%	Humano
	94,21%	92,48%	93,34%	Socialbot
C. Variação 1	93,69%	92,72%	93,20%	Humano
	92,80%	93,76%	93,28%	Socialbot
C. Original	92,63%	94,56%	93,59%	Humano
	94,44%	92,48%	93,45%	Socialbot

## 6. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou um comitê para detecção de *socialbots* composto por um Sistema Fuzzy e quatro algoritmos de aprendizado de máquina. Os experimentos foram realizados em uma base de dados composta por 2.500 contas do Twitter, onde metade pertencia a humanos e a outra, a diversos tipos de *socialbots*. Esta base foi rotulada através da metodologia descrita em [7], a qual garantiu a qualidade dos dados.

O Sistema Fuzzy foi desenvolvido a partir da obtenção do conhecimento dos melhores juizes que rotularam as contas. Este algoritmo foi o único a classificar de maneira equilibrada a quantidade de *socialbots* e de humanos, apresentando uma acurácia próxima a 87% para ambas as classes. A acurácia do comitê foi maior do que a de cada um dos algoritmos que o compõem. Além disso, a acurácia do comitê foi maior com o Sistema Fuzzy do que sem o mesmo. Sendo assim, foi comprovado que a utilização do Sistema Fuzzy auxiliou no processo de classificação de *socialbots*, melhorando os resultados do comitê. Pelas razões expostas, os sistemas *fuzzy* mostraram ser uma opção eficaz na detecção de *socialbots* aliados a outros algoritmos. A sua utilização neste contexto, assim como refinamentos em seus conjuntos, variáveis e regras, pode ser melhor explorada em trabalhos futuros.

Todos os algoritmos contaram com uma análise prévia para a realização da escolha dos atributos e de seus parâmetros. Desta forma, todas as etapas garantiram a robustez dos modelos gerados dos algoritmos e, conseqüentemente, do referido comitê. Neste último, melhorias poderiam ser feitas com a adição de outros algoritmos e a variação do processo de tomada de decisão.

As contribuições deste trabalho incluem: a aplicação da metodologia para construção de bases de dados rotuladas com qualidade garantida, proposta em [7], coletando uma nova base de dados com qualidade assegurada; o Sistema Fuzzy, a ser construído a partir de entrevistas com os melhores juizes; e o Comitê de classificadores, que inclui o Sistema

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio da CAPES, da FAPERJ e do CNPq. Também, agradecemos a Cresci et al. [19] e a Lee et al. [16] por terem cedido suas bases para estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] [1] Freitas, C. A. et al.; Reverse engineering socialbot infiltration strategies in Twitter. IEEE/ACM ASONAM, 2015.
- [2] [2] Tumasjan, A. et al.; Predicting Elections with Twitter: What 140 Characters Reveal about Political Sentiment. AAAI ICWSM, Washington, DC, EUA, 2010.
- [3] [3] Dickerson, J. P. et al.; Using sentiment to detect bots on twitter: Are humans more opinionated than bots? IEEE/ACM ASONAM, p. 620–627, 2014.
- [4] [4] Bollen, J. et al.; Twitter mood predicts the stock market. Journal of Computational Science, Vol. 2, p. 1–8, 2011.
- [5] [5] Edwards, C. et al.; Is that a bot running the social media feed? Testing the differences in perceptions of communication quality for a human agent and a bot agent on Twitter. Computers in Human Behavior, Vol. 33, p.372–376, 2014.
- [6] [6] Mander, J. e McGrath, F.; GWI Social GlobalWebIndex's quarterly report on the latest trends in social networking, <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/304927/Downloads/GWI-Social-Summary-Q1-2017.pdf>, acessado em agosto de 2018.
- [7] [7] Pacheco, C. et al.; A Methodology for Constructing Labeled Data Sets for Socialbots Detection. Revista IEEE América Latina, submetido, 2017.
- [8] [8] Pacheco, C. et al.; Building Reference Datasets to Support Socialbots Detection. Metrology for Industry 4.0 and IoT. IEEE, 2018.
- [9] [9] Zadeh, L. A.; Fuzzy logic. Computer, Vol. 21, N. 4, p. 83–93, Abril, 1988.
- [10] [10] Benevenuto, F. et al.; Detecting spammers on Twitter. Collaboration, electronic messaging, anti-abuse and spam conference (CEAS), Vol 6, p.12, 2010.
- [11] [11] Joachims, T.; Text categorization with support vector machines: Learning with many relevant features. Nédellec C., Rouveiroi C. (eds) Machine Learning: ECML. Lecture Notes in Computer Science, Vol 1398, Springer Berlin Heidelberg, 1998.
- [12] [12] Freitas, C. et al.; Socialbots: Implicações na segurança e na credibilidade de serviços baseados no Twitter. SBRC, Santa Catarina, Brasil. p. 603–616, 2014.
- [13] [13] Zhang, C. M. e Paxson, V.; Detecting and analyzing automated activity on twitter. Passive and Active Measurement, p.102–111. Springer, 2011.
- [14] [14] Cha, M. et al.; Measuring User Influence in Twitter: The Million Follower Fallacy. AAAI ICWSM, Menlo Park, CA, EUA. AAAI Press. p.10-17, 2010.
- [15] [15] Breiman, L.; Machine Learning (2001) 45: 5, Kluwer Academic Publisher, doi:10.1023/A:1010933404324
- [16] [16] Lee, K. et al.; Seven Months with the Devils: A Long-Term Study of Content Polluters on Twitter. AAAI ICWSM, 2011.
- [17] [17] Cresci, S. et al.; A Fake Follower Story: improving fake accounts detection on Twitter. IIT-CNR, Relatório Técnico TR-03, 2014.
- [18] [18] Cresci, S. et al.; A Criticism to Society (As Seen by Twitter Analytics). IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (2014), doi:10.1109/ICDCSW.2014.31.
- [19] [19] Cresci, S. et al.; Fame for sale: Efficient detection of fake Twitter followers. Decision Support Systems, Vol. 80, p. 56–71, 2015.
- [20] [20] Ferrara, E. et al.; The Rise of Social Bots. Communications of the ACM, 2016.
- [21] [21] Varol, O. et al.; Online human-bot interactions: Detection, Estimation, and Characterization. AAAI ICWSM, 2017.
- [22] [22] OSoMe project, CNetS, IUNI. Botometer. <https://botometer.iuni.iu.edu/#/>, acessado em agosto de 2018.
- [23] [23] Haustein, S. et al.; Tweets as impact indicators: Examining the implications of automated "bot" accounts on Twitter. Association for Information Science and Technology, 2015.
- [24] [24] Wikipedia. Twitterbot; [https://en.wikipedia.org/wiki/Twitter\\_bot](https://en.wikipedia.org/wiki/Twitter_bot), acessado em agosto de 2018.
- [25] [25] Prime, M.; The best Twitter bots of 2015– Quartz (2015); <https://qz.com/572763/the-best-twitter-bots-of-2015/>, acessado em agosto de 2018.
- [26] [26] Gilani, Z. et al.; Of Bots and Humans (on Twitter). ASONAM IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining, p. 349-354, 2017.
- [27] [27] Alarifi, A. et al.; Twitter turing test: Identifying social machines. Information Sciences – Informatics and Computer Science, Intelligent Systems, Applications. Vol. 372, p. 332–346, 2016.
- [28] [28] Pacheco, C. et al.; Detecção de Socialbots em Redes Sociais baseada em atributos quantitativos; Tese de Doutorado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil, 2018.
- [29] [29] Sadiq, S. et al.; Aafa: Associative affinity factor analysis for bot detection and stance classification in twitter. IEEE IRI (2017), doi:10.1109/IRI.2017.25.
- [30] [30] Hühn, J. e Hüllermeier, E.; Furia: an algorithm for unordered fuzzy rule induction. Data Mining and Knowledge Discovery, Springer US. Vol 19, p. 293, 2009.
- [31] [31] Twitter. GET statuses/user timeline — Twitter Developers, 2017. [https://developer.twitter.com/en/docs/tweets/timelines/api-reference/get-statuses-user\\_timeline.html](https://developer.twitter.com/en/docs/tweets/timelines/api-reference/get-statuses-user_timeline.html), acessado em agosto de 2018.
- [32] [32] Cingolani, P. e Alcalá-Fdez, J.; jfuzzylogic: a robust and flexible fuzzy-logic inference system language implementation. IEEE International Conference on Fuzzy Systems, p. 1–8, 2012.
- [33] [33] Kohavi, R.; The Power of Decision Tables. ECML, Creta, Grécia (1995). Springer-Verlag, p. 174–189, doi: 10.1007/3-540-59286-5\_57.
- [34] [34] Liu, D. C. e Nocedal, J.; On the Limited Memory BFGS Method for Large Scale Optimization. Mathematical Programming, Vol. 45, p.503, Springer-Verlag, 1989.
- [35] [35] Frank, E. et al.; Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques, Morgan Kaufmann, Fourth Edition, 2016.

# Proposta de modelo estocástico para minimização do máximo resíduo absoluto em redes de nivelamento

Stefano S Suraci\*, Leonardo C Oliveira  
Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil.  
Praça General Tibúrcio, 80, 22290-270, Praia Vermelha  
Rio de Janeiro, RJ, Brasil.  
stefanosampaio@hotmail.com

**RESUMO:** Em redes de nivelamento, os pesos das observações são geralmente dados pelo inverso do comprimento da respectiva seção. Esta abordagem é baseada em conjecturas de difícil garantia na prática dos levantamentos. Neste trabalho, um modelo estocástico alternativo que aproveita a característica de minimização do máximo resíduo absoluto do ajuste pela Minimização da Norma de Chebyshev com pesos unitários foi proposto para aplicação em redes sem outliers. Uma rede de nivelamento simulada sem outliers foi ajustada pelo Método dos Mínimos Quadrados com os modelos estocásticos usual e proposto. O ajustamento por Mínimos Quadrados com o modelo estocástico proposto apresentou menores resíduos absolutos máximo e mínimo. A média e o desvio padrão dos resíduos absolutos também foram menores. Além disso, ambos os conjuntos das precisões dos resíduos e dos parâmetros estimados obtiveram menor desvio padrão. Portanto, o método proposto parece promissor, pois forneceu resíduos absolutos menores e menos dispersos, e melhor homogeneidade de precisão dos parâmetros estimados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelo estocástico. Resíduo absoluto. Norma de Chebyshev. Rede de nivelamento.

**ABSTRACT:** In leveling networks, observation weights are usually given by the inverse of the length of the respective section. This approach is based on assumptions of difficult assurance in the practice of surveys. In this work, an alternative stochastic model that takes advantage of the maximum absolute residual minimization characteristic of the Chebyshev Norm Minimization adjustment with unitary weights was proposed for networks without outliers. A simulated leveling network with no outliers were adjusted by the Least Squares method with the usual and with the proposed stochastic model. Least Squares adjustment with the proposed stochastic model provided lower absolute maximum and minimum residuals. The mean and standard deviation of the absolute residuals were also lower. In addition, both sets of precision of residuals and of estimated parameters obtained lower standard deviation. Therefore, the proposed method seems promising, as it provided smaller and less dispersed absolute residuals, and better precision homogeneity of the estimated parameters.

**KEYWORDS:** Stochastic model. Absolute residual. Chebyshev norm. Leveling network.

## 1. INTRODUÇÃO

O ajustamento das observações de redes de nivelamento é normalmente realizado pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), que minimiza a soma dos quadrados dos elementos do vetor  $v$  dos resíduos do ajustamento, ponderados pela matriz  $P$  dos pesos das observações, sendo  $v^T$  o vetor transposto de  $v$  (Eq. 1). Seus resultados são os mais prováveis, sob a premissa de somente erros aleatórios serem normalmente distribuídos nas observações.

$$\text{MMQ: } \text{mín}(v^T * P * v) \quad (1)$$

A teoria de propagação de covariâncias do ajustamento pelo MMQ é bem consolidada na literatura, sendo possível estimar suas matrizes de variância e covariância (MVC) dos resíduos  $Ev$  e dos parâmetros estimados  $Ex$ . Maiores informações sobre o ajustamento pelo MMQ de redes geodésicas e sua respectiva teoria de propagação de covariâncias devem ser vistas em [1].

Os pesos das observações são usualmente dados pelo inverso do comprimento das respectivas seções de nivelamento. Porém, esta abordagem para o modelo estocástico do ajustamento, demonstrada matematicamente também por [1], é baseada em conjecturas de difícil garantia na prática dos levantamentos, como a utilização de equipamentos com a mesma precisão e adoção da mesma distância em todas as visadas da rede.

Nos levantamentos de maiores dimensões, como de redes de nivelamento oficiais de países de grande área, é usual que várias seções sejam medidas simultaneamente, com diferentes precisões e condições de calibragem entre os diversos equipamentos. A versão mais atual da Rede Altimétrica de

Alta Precisão (RAAP) do Sistema Geodésico Brasileiro, por exemplo, possui cerca de 75.000 seções de nivelamento (observações) em seu ajustamento.

Quanto ao comprimento das visadas, no caso brasileiro [2], propõe-se que o comprimento dessas seja de 60 m. Entretanto, é de se esperar que, para parte das visadas de uma rede, isso seja inviabilizado no terreno, por exemplo, por relevo acidentado ou obstáculos naturais, como rios cruzando a linha de nivelamento. Assim, a própria legislação citada aceita que isto não seja estritamente seguido, desde que o comprimento da visada seja mantido num mesmo lance e não ultrapasse 100 m.

Por outro lado, o ajustamento pela Minimização da Norma de Chebyshev (MNC) envolve a minimização do máximo resíduo absoluto ponderado pelo peso da respectiva observação (Eq. 2), sendo  $p$  o vetor dos pesos das observações (independentes) e  $|v|$ , o vetor dos resíduos absolutos, e a multiplicação entre eles elemento a elemento.

$$\text{MNC: } \text{mín}(\text{máx}(p * |v|)) \quad (2)$$

Sem colocar pesos para as observações, ou seja, adotando-se pesos unitários para as mesmas, a MNC corresponde à minimização do Máximo Resíduo Absoluto (MRA) no ajustamento. A solução da MNC é usualmente feita por programação linear. Para maiores detalhes sobre o ajustamento pela MNC com pesos unitários e sua solução por programação linear, caso dessa pesquisa, indica-se [3].

No contexto das redes geodésicas, a MNC já foi aplicada por [4] para o caso de uma rede de nivelamento geométrico. Foi adotado o modelo estocástico usual que trata os pesos das observações como inversamente proporcionais ao comprimento das respectivas seções de nivelamento. Naquela obra,

o autor sugere que o ajustamento pela MNC tem qualidade próxima à do MMQ.

Porém, diferentemente do MMQ, a MNC não possui uma respectiva teoria de propagação de covariâncias consolidada na literatura, essencial para uma análise acurada dos resultados do ajustamento de redes geodésicas. Assim, as matrizes  $E_x$  e  $E_v$  do ajustamento não foram avaliadas na obra mencionada.

Contudo, esse trabalho apresenta uma alternativa de modelo estocástico para ajustamento pelo MMQ de redes de nivelamento no qual os pesos das observações são adaptados iterativamente de forma a propiciar a minimização do MRA, calculado anteriormente via MNC com pesos unitários. Espera-se que isto contribua para a desejável diminuição do MRA do ajustamento, sem abrir mão de consagradas vantagens do MMQ, incluindo a possibilidade de aferição da precisão dos resultados do ajustamento via propagação de covariâncias.

Entretanto, o ajustamento pela MNC, assim como no caso do MMQ, não é robusto, tendendo a distribuir erros de *outliers* entre as demais observações, o que dificulta também sua aplicação na identificação dos mesmos [3]. Assim, como o modelo estocástico alternativo será construído a partir de resultados do ajustamento pela MNC, propõe-se que o mesmo seja aplicado em redes nas quais possíveis *outliers* já foram devidamente tratados.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A rede simulada utilizada no experimento consta da Figura 1 e da Tabela 1. A altitude do ponto A foi considerada fixa (injunção fixa) e com valor  $h_A=0$ . Assim, trata-se de uma rede com 20 observações e 10 pontos de altitudes a determinar, ou seja, o número de graus de liberdade é 10. As observações foram simuladas com somente erros aleatórios (sem *outliers*), cenário em que a aplicação do modelo estocástico alternativo é proposta. O desvio padrão  $\sigma_i$  adotado para as observações nas simulações é dado pela Eq. 3, sendo K (em km) o comprimento da respectiva seção de nivelamento.

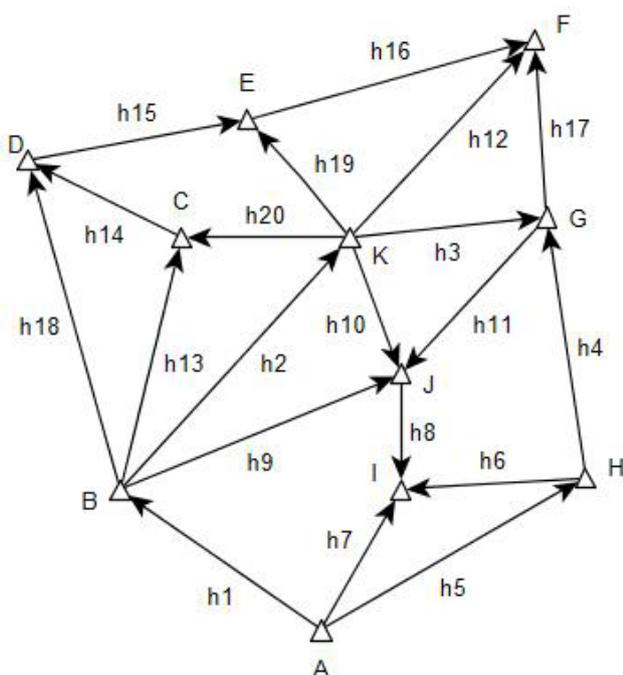


Fig. 1 – Geometria da rede simulada.

Tab 1: Observações da rede simulada.

$h_i$	C o m p . (km)	Valor (mm)	$h_i$	C o m p . (km)	Valor (mm)
$h_1$	49	163836,2	$h_{11}$	62	110227,3
$h_2$	41	6441,5	$h_{12}$	49	155920,1
$h_3$	38	57046,3	$h_{13}$	35	52882,0
$h_4$	34	126213,0	$h_{14}$	43	62896,2
$h_5$	22	101126,5	$h_{15}$	20	3890,0
$h_6$	13	296883,3	$h_{16}$	28	42702,6
$h_7$	23	398012,4	$h_{17}$	19	98894,8
$h_8$	48	60452,9	$h_{18}$	39	115778,7
$h_9$	15	173717,0	$h_{19}$	27	113228,8
$h_{10}$	24	167266,0	$h_{20}$	21	46428,0

$$\sigma_i = 1,0(mm) * \sqrt{K_i} \quad (3)$$

O diagrama de atividades do método para construção do modelo estocástico alternativo proposto é apresentado na Fig.2. Inicialmente, a rede é ajustada pela MNC com pesos unitários para todas as observações, para que se compute o mínimo MRA da mesma. Em seguida, a rede é sucessivamente ajustada pelo MMQ. Na primeira iteração do MMQ, também são atribuídos pesos iguais para as observações, ou seja, a matriz dos pesos  $P$  deve ser igual à matriz identidade  $I$  de mesmas dimensões multiplicada por um escalar  $k$ , para o qual se adotará o valor do inverso do quadrado do MRA. Assim, assume-se que o MRA é uma estimativa inicial para os desvios padrão relativamente consonante com a real qualidade das observações.

Seja  $i$  o índice da  $i$ -ésima observação da rede. Nas iterações seguintes, o peso das observações com módulo do resíduo  $|v_i|$  superior ao MRA (somado a um nível de tolerância cem vezes menor que a última casa decimal das observações da rede) é incrementado conforme Eq. 4, sendo  $pn_i$  o novo peso e  $pa_i$  o anterior. O procedimento se encerra quando o módulo de todos os resíduos da rede se tornar menor ou igual ao MRA calculado via MNC.

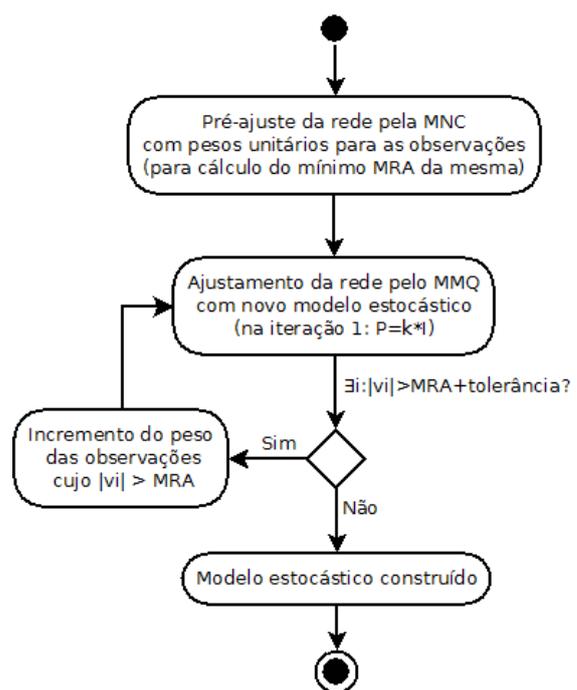


Fig. 2 – Diagrama de atividades da construção do modelo estocástico alternativo proposto.

$$pn_i = pa_i * \frac{|v_i|}{MRA} \quad (4)$$

Ao se iniciar com pesos iguais, deixa-se que a consistência interna do próprio conjunto de observações (sem a interferência de pesos usuais que podem estar mal dimensionados) desencadeie a construção do modelo estocástico a ser adotado. Em seguida, as adaptações iterativas dos pesos visam à obtenção de uma determinada característica no resultado do ajustamento, no caso, o MRA mínimo.

A desvantagem é que esta ponderação dificilmente reflete a realidade da rede. Neste caso o ajustamento das observações é obtido única e exclusivamente em função dos dados de campo e da configuração geométrica da rede. Logo, os resultados obtidos não necessariamente conduzem a uma solução ótima, uma vez que o modelo estocástico foi simplificado.

Para avaliação, a rede de nivelamento foi ajustada pelo MMQ com o modelo estocástico usual (pesos pelo inverso do comprimento das seções) e com o modelo estocástico alternativo proposto construído pelo procedimento da Fig. 2. Nesse contexto, seja  $|v|$  o vetor do valor absoluto dos resíduos, e  $Sx$  e  $Sv$ , as das precisões dos parâmetros estimados e dos resíduos no ajustamento pelo MMQ, respectivamente. Essas precisões correspondem às raízes quadradas dos elementos da diagonal principal de  $Ex$  e  $Ev$ , respectivamente.

Foram comparadas a média, o desvio padrão, a máxima e a mínima magnitude, e a diferença entre essas duas últimas dos elementos dos vetores  $|v|$  de cada um dos ajustamentos. A média e o desvio padrão dos elementos de  $Sx$  e  $Sv$  também foram analisados. Os menores valores para cada uma dessas métricas foram considerados mais desejáveis para o ajustamento.

O experimento foi conduzido no software *Octave* [5], versão 4.4.1. A solução da MNC por programação linear foi feita pelo método *SIMPLEX*, com a formulação apresentada por [3], utilizando, para tal, a rotina *glpk* do mesmo software. O leitor pode contatar os autores para obter o código do experimento.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seguindo o procedimento da Fig. 2, o MRA calculado no ajustamento pela MNC para a rede foi de 7,00 mm. A Tabela 2 mostra o vetor dos resíduos  $v$  desse ajustamento. Nela se pode verificar também que 11 dos 20 resíduos absolutos obtiveram valor igual ao próprio MRA da rede. De fato, essa repetição de resíduos absolutos iguais ao MRA é uma propriedade do ajustamento pela MNC com pesos iguais. Maiores detalhes sobre tal propriedade podem ser vistas em [3].

Isso reforça a questão da deficiência de robustez da MNC, que dificulta sua aplicação antes do tratamento dos *outliers* da rede. Além de o possível *outlier* distribuir seu erro pelas outras observações, seu resíduo será igual ao de diversas outras “boas” observações, tornando inviável a sua identificação.

Tab 2: Resíduos do ajustamento pela MNC.

$v_i$	Valor (mm)	$v_i$	Valor (mm)	$v_i$	Valor (mm)	$v_i$	Valor (mm)
$v_1$	1,50	$v_6$	2,60	$v_{11}$	-5,10	$v_{16}$	2,70
$v_2$	<b>7,00</b>	$v_7$	<b>-7,00</b>	$v_{12}$	<b>7,00</b>	$v_{17}$	<b>-7,00</b>
$v_3$	<b>-7,00</b>	$v_8$	4,80	$v_{13}$	<b>-7,00</b>	$v_{18}$	-5,40
$v_4$	<b>-7,00</b>	$v_9$	<b>-7,00</b>	$v_{14}$	2,10	$v_{19}$	<b>-7,00</b>
$v_5$	<b>-7,00</b>	$v_{10}$	-4,50	$v_{15}$	<b>7,00</b>	$v_{20}$	-1,50

Prosseguindo, o modelo estocástico alternativo proposto foi obtido após 26 iterações de ajustamento pelo MMQ. O peso inicial adotado para todas as observações foi de  $2,04 \cdot 10^{-2} \text{ mm}^{-2}$  (inverso do quadrado do MRA). Como as observações da rede analisada (em milímetros) possuem 1 casa decimal, a tolerância adotada na comparação dos resíduos absolutos com o MRA foi de  $10^{-3}$  milímetros. A Tabela 3 mostra os pesos  $p_i$  construídos para as observações no modelo estocástico alternativo proposto. Vale notar que o peso inicial foi mantido para 17 das 20 observações.

Para comparação, a rede simulada foi ajustada pelo MMQ com o modelo estocástico usual (MEU) e com o modelo estocástico proposto (MEP). A Tabela 4 e a Tabela 5 listam os resíduos desses ajustamentos, respectivamente. Pode-se observar que somente duas observações (11 e 16) apresentaram resíduos com sinais diferentes entre os ajustamentos.

Tab 3: Pesos das observações no modelo proposto.

$p_i$	Valor ( $\text{mm}^{-2}$ )	$p_i$	Valor ( $\text{mm}^{-2}$ )	$p_i$	Valor ( $\text{mm}^{-2}$ )	$p_i$	Valor ( $\text{mm}^{-2}$ )
$p_1$	$2,04 \cdot 10^{-2}$	$p_6$	$2,04 \cdot 10^{-2}$	$p_{11}$	$2,04 \cdot 10^{-2}$	$p_{16}$	$2,04 \cdot 10^{-2}$
$p_2$	$2,32 \cdot 10^{-2}$	$p_7$	$2,04 \cdot 10^{-2}$	$p_{12}$	$4,07 \cdot 10^{-2}$	$p_{17}$	$3,98 \cdot 10^{-2}$
$p_3$	$2,04 \cdot 10^{-2}$	$p_8$	$2,04 \cdot 10^{-2}$	$p_{13}$	$2,04 \cdot 10^{-2}$	$p_{18}$	$2,04 \cdot 10^{-2}$
$p_4$	$2,04 \cdot 10^{-2}$	$p_9$	$2,04 \cdot 10^{-2}$	$p_{14}$	$2,04 \cdot 10^{-2}$	$p_{19}$	$2,04 \cdot 10^{-2}$
$p_5$	$2,04 \cdot 10^{-2}$	$p_{10}$	$2,04 \cdot 10^{-2}$	$p_{15}$	$2,04 \cdot 10^{-2}$	$p_{20}$	$2,04 \cdot 10^{-2}$

Tab 4: Resíduos do ajustamento pelo MMQ com o MEU.

$v_i$	Valor (mm)	$v_i$	Valor (mm)	$v_i$	Valor (mm)	$v_i$	Valor (mm)
$v_1$	6,64	$v_6$	1,56	$v_{11}$	-1,21	$v_{16}$	1,99
$v_2$	7,39	$v_7$	-2,05	$v_{12}$	10,42	$v_{17}$	-5,39
$v_3$	-5,20	$v_8$	-1,48	$v_{13}$	-1,73	$v_{18}$	2,57
$v_4$	-5,65	$v_9$	-0,92	$v_{14}$	4,80	$v_{19}$	-2,87
$v_5$	-1,02	$v_{10}$	1,20	$v_{15}$	3,55	$v_{20}$	3,38

Tab 5: Resíduos do ajustamento pelo MMQ com o MEP.

$v_i$	Valor (mm)	$v_i$	Valor (mm)	$v_i$	Valor (mm)	$v_i$	Valor (mm)
$v_1$	5,86	$v_6$	3,18	$v_{11}$	0,25	$v_{16}$	-0,30
$v_2$	7,00	$v_7$	-2,64	$v_{12}$	7,00	$v_{17}$	-7,00
$v_3$	-7,00	$v_8$	-0,55	$v_{13}$	-1,36	$v_{18}$	0,91
$v_4$	-6,41	$v_9$	-1,64	$v_{14}$	2,77	$v_{19}$	-4,00
$v_5$	-3,22	$v_{10}$	0,85	$v_{15}$	3,69	$v_{20}$	4,14

A Tabela 6 compara os valores máximo, médio, mínimo, a diferença entre o máximo e o mínimo, e o desvio-padrão dos elementos de  $|v|$  para os ajustamentos pelo MMQ com o MEU e com o MEP. Em destaque aparecem os valores mínimos dentre os ajustamentos para cada métrica analisada. Como era de se esperar, o ajustamento com modelo estocástico proposto apresentou MRA (Máximo Elemento de  $|v|$ ) inferior, pois nele os pesos das observações foram construídos de forma a implicar isso.

Tab 6: Comparação de estatísticas dos elementos de  $|v|$  no ajustamento pelo MMQ com o MEU e com o MEP

Métrica comparada	MEU	MEP
Máximo ( $ v $ )	10,42 mm	<b>7,00 mm</b>
Média ( $ v $ )	3,55 mm	<b>3,49 mm</b>
Mínimo ( $ v $ )	0,92 mm	<b>0,25 mm</b>
Máximo ( $ v $ ) – Mínimo ( $ v $ )	9,50 mm	<b>6,75 mm</b>
Desvio padrão ( $ v $ )	2,57 mm	<b>2,47 mm</b>

A média, o valor mínimo, o desvio padrão e o intervalo entre o valor máximo e o mínimo dos resíduos absolutos também foram diminuídos. Isso mostra que, em média, os resíduos absolutos foram menores e menos dispersos, o que também pode ser considerado desejável.

Com fatores de variância *a posteriori* de 1,06 e 0,94 para o MMQ com o MEU e com o MEP, respectivamente, ambos os ajustamentos foram aprovados no Teste *Qui-Quadrado* bicaudal ao nível de significância de 5%.

A Tabela 7 apresenta a média e o desvio padrão dos elementos de  $S_v$  e  $S_x$ . O desvio padrão dos elementos dos vetores  $S_v$  e  $S_x$  foi menor que o equivalente com o MEU. Assim, o ajustamento pelo MMQ com o MEP gerou precisão dos resíduos e dos parâmetros estimados mais homogêneos que aqueles com o modelo usual. Em contraponto, os resultados do MMQ com o MEU apresentaram valor médio dos elementos de  $S_v$  e de  $S_x$  relativamente menores, apesar disso não significar que são necessariamente mais realistas.

**Tab 7:** Comparação de estatísticas dos elementos de  $S_v$  e  $S_x$  no ajustamento pelo MMQ com o MEU e com o MEP

Métrica comparada	MEU	MEP
Média ( $S_v$ )	4,13 mm	4,65 mm
Desvio padrão ( $S_v$ )	1,36 mm	0,63 mm
Média ( $S_x$ )	5,15 mm	5,85 m
Desvio padrão ( $S_x$ )	0,91 mm	0,70 m

#### 4. CONCLUSÃO

Nesse trabalho, um modelo estocástico alternativo que aproveita a característica de minimização do MRA do ajustamento pela MNC com pesos iguais foi proposto para o ajustamento de redes de nivelamento pelo MMQ. Isso foi motivado pela difícil garantia das conjecturas do modelo estocástico usual na prática dos levantamentos. O modelo usual adota pesos pelo inverso do comprimento das respectivas seções de nivelamento.

Apesar do modelo proposto provavelmente também não refletir a realidade da rede, ele ocasionou resultados no mínimo interessantes, que podem ser considerados desejáveis, quando aplicado no ajustamento pelo MMQ de uma rede de nivelamento simulada. Como a MNC não é robusta e o modelo estocástico alternativo é construído a partir de resulta-

dos do ajustamento pela MNC, propõe-se que o mesmo seja aplicado em redes nas quais possíveis *outliers* já foram devidamente tratados.

O ajustamento pelo MMQ com o modelo estocástico proposto obteve sucesso em implicar na minimização do MRA em relação ao MMQ com o modelo usual. Além disso, houve uma diminuição no valor médio, no valor mínimo e no desvio padrão dos resíduos absolutos, e também na diferença entre o máximo e o mínimo resíduo absoluto. Ou seja, além de menores (em módulo) em geral, os resíduos tiveram uma menor dispersão.

Da análise da propagação de covariâncias no ajustamento pelo MMQ, o modelo proposto gerou precisão dos resíduos e dos parâmetros estimados com menor desvio padrão em relação àqueles do MMQ com pesos usuais. Isso pode ser aproveitado para implantação de redes de nivelamento com qualidade mais homogênea entre seus vértices.

O modelo estocástico proposto foi aplicado a uma rede de nivelamento, mas pode ser testado em outros tipos de redes geodésicas e no ajustamento de observações em geral, nas diversas áreas do conhecimento. Ademais, o método para construção do modelo utilizou em uma de suas etapas a MNC, um método de ajustamento das observações ainda pouco explorado na literatura geodésica. Em trabalhos futuros, outras possíveis aplicações da MNC no ajustamento de redes geodésicas podem ser investigadas.

Sugere-se ainda que modelos estocásticos que impliquem em outras possíveis características (além do MRA mínimo visto) para os resultados do ajustamento sejam propostos. Pode-se buscar a minimização da média dos resíduos e da precisão dos parâmetros estimados, por exemplo, em trabalhos futuros.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ghilani, C.D.; Adjustment Computations, 5th ed., John Wiley & Sons: Hoboken, EUA, 2010.
- [2] IBGE; Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em território brasileiro, Brasil, 1983.
- [3] Abdelmalek, N.N.; Malek, W.A.; Numerical linear approximation in C, CRC Press: Londres, Reino Unido, 2008.
- [4] Ebong, M.B.; The Chebyshev adjustment of a geodetic leveling network; Survey Review, 1986, 28, 220.
- [5] GNU; GNU Octave; <https://www.gnu.org/software/octave/>, acessada em outubro de 2018.



# BIBLIOTECA DO EXERCITO

## **Missão**

**Contribuir para o provimento, a edição e a difusão de meios bibliográficos e informações necessárias ao desenvolvimento e ao aperfeiçoamento da cultura profissional-militar e geral dos públicos interno e externo.**

## **Visão do futuro**

**Ser referência nacional e internacional pela excelência na publicação de acervos bibliográficos que sejam instrumentos de promoção de cultura e de cidadania para públicos interno e externo**

## **Princípios, crenças e valores**

**Culto aos valores e às tradições militares;**

**Competência técnico-profissional;  
Confiabilidade; Planejamento.**

