

VERIFICAÇÃO DA INTEGRAÇÃO DO BRT COM TREM NA MOBILIDADE URBANA DO RIO DE JANEIRO

Eunice Horácio de Souza de Barros Teixeira

José Artur d'Oliveira Mussi

Ronaldo Balassiano

Rosana Dischinger Miranda

Victor Rodrigues do Amaral

RESUMO: A eficiência da mobilidade urbana em uma cidade visa garantir acesso ao trabalho e locomoção da sociedade, aumentando a qualidade de vida, além de criar maior equidade social. Pensando nesses aspectos, surge, então, o estudo da formação de redes por meio da utilização da integração entre diferentes modos de transportes. Este artigo utiliza-se de uma revisão bibliográfica e de estudo de caso realizado com pesquisa de opinião, coletada em campo, a qual foi realizada para obter a avaliação do usuário na integração dos sistemas de transportes do Rio de Janeiro – trem com o BRT Transcarioca – a partir de estudos na Estação Madureira. O estudo aponta os principais resultados, tais como os conceitos obtidos em cada atributo das características do sistema BRT e o atributo que mais motiva a migração do deslocamento de sua viagem para a integração do sistema BRT com trem.

Palavras-chave: Mobilidade urbana. BRT. Trem. Rede Integrada de Transporte. Rio de Janeiro.

ABSTRACT: The efficiency of urban mobility in a city aims to ensure access to work and mobility of society, increasing quality of life and create greater social equity. Thinking about these aspects, comes up the study of the networks formation using the integration between different transport modes. This article presents a bibliographical review and the results of a field research, which was carried out to obtain the user evaluation in the integration of Rio de Janeiro transportation systems – BRT Transcarioca and train – from studies at the Madureira station. The study highlights the main results, such as the concepts obtained in each attribute of the BRT system characteristics and the attribute that most motivates the migration of its trip to the BRT system integration with train.

Keywords: Urban mobility. BRT. Urban Railway. Integrated Transport Network. Rio de Janeiro.

INTRODUÇÃO

Dentre os diversos desafios contemporâneos das grandes cidades e regiões metropolitanas de todo o mundo, a busca por alcançar a mobilidade urbana é constante e difícil. No Brasil, o crescimento desenfreado dos centros urbanos ao longo dos séculos, juntamente a um modelo de planejamento urbano e de transportes deficiente, cujo intuito, por muito tempo, foi o de estimular a utilização de automóveis particulares nas cidades, ocasionou múltiplos impactos negativos na mobilidade urbana.

As cidades brasileiras cresceram de modo desenfreado e a configuração das redes de transporte se desenvolveu na tradicional forma radial, concentrando viagens nos corredores que interligam os diversos bairros e regiões mais afastadas do centro.

Dentro desse cenário, surge a necessidade de retomada do planejamento de transportes, a fim de promover soluções aos congestionamentos urbanos e estabelecer um sistema que garanta a confiabilidade da população para os deslocamentos realizados com diversos fins. O conceito de mobilidade urbana sustenta que as políticas públicas de transporte, trânsito e de uso e ocupação do solo devem ser elaboradas de maneira totalmente integrada.

Conforme cita Oliveira (2013), para colocar em prática os conceitos de mobilidade sustentável, devem ser executadas obras e instalações de diferentes modos de transporte, como metrô, trem, barcas, seja para interligá-los, seja para, ainda, levá-los a algumas localidades ainda não aplicadas. Além da instalação de modos já existentes, a necessidade de urgência para resolver o caos no trânsito das cidades faz com que novas soluções sejam pensadas e executadas, tais como o sistema de Bus Rapid Transit, mais conhecido como BRT, o qual oferece alta capacidade de transporte para a população, com obras consideravelmente mais viáveis para cidades já conglomeradas.

Com a percepção do crescimento da frota de veículos particulares e os malefícios trazidos por tal fato, a implantação do sistema BRT no Rio de Janeiro vem se mostrando como uma das soluções para o cenário negativo do transporte público que o município vinha enfrentando, com pouco investimento em sistemas de alta capacidade e na integração entre os diversos modos, sobretudo a partir de eixos estruturantes de uma rede.

No entanto, o município passou por transformações com a chegada de grandes eventos, desde 2011, que culminou com os Jogos Olímpicos

de 2016. Isso fez com que o cenário de transportes passasse a ser planejado em forma de rede integrada.

Uma das soluções de mobilidade urbana pode ser o pensamento sistêmico e em rede através da integração modal, e este trabalho visa, por meio de um estudo de caso, avaliar o comportamento da demanda em relação a esse tipo de solução integrada. Nesse caso, a análise é realizada através de uma pesquisa de campo observando-se a mudança no comportamento da população e avaliando-se alguns atributos mais relevantes em relação às integrações. Para a análise, foi escolhido o BRT Transcarioca e sua integração com sistema ferroviário.

Para a realização deste trabalho foram estudados artigos científicos, teses, dissertações e livros acerca dos temas: mobilidade urbana, especificidades dos modos ferroviário (trem) e rodoviário (BRT), assim como seu funcionamento na cidade do Rio de Janeiro. Além disso, para elaboração da metodologia, foi necessário ter conhecimento sobre a qualidade em serviços de transporte e pesquisa com usuários. A metodologia empregada foi, portanto, baseada em uma pesquisa bibliográfica na busca por conceitos que permitissem agregar um bom embasamento teórico capaz de, posteriormente, possibilitar um estudo de caso, para o qual foi elaborado o formulário utilizado na pesquisa de campo, visando obter a opinião dos usuários desses modos do transporte público.

A análise dos dados obtidos, juntamente aos conceitos e considerações acerca do assunto, contribuíram para a análise e avaliação das mudanças da mobilidade urbana na cidade do Rio de Janeiro com a implantação do sistema BRT e sua integração com o sistema de trem.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Mobilidade urbana

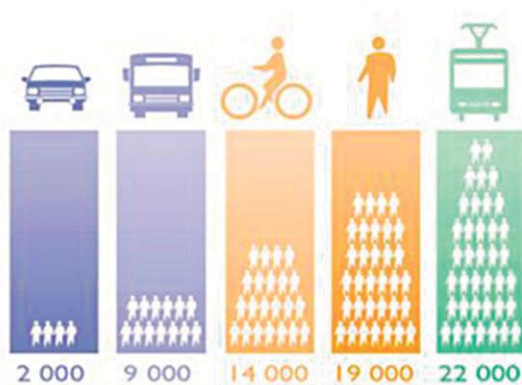
Segundo Bonfim (2010), inicialmente, a análise da mobilidade urbana contemplava essencialmente questões da malha viária e da condição e fluxo de transporte de passageiros. Posteriormente, o conceito se ampliou envolvendo aspectos socioeconômicos relativos ao modo de vida nas cidades, vinculando as oportunidades advindas por meio do acesso aos meios de transporte para o trajeto casa-trabalho (deslocamento pendular) e aos serviços de saúde, educação, cultura e lazer. A questão da mobilidade urbana é agravada pela forma de ocupação e

organização do espaço nas cidades, atingindo, sobretudo, as metrópoles. As áreas dinâmicas, que concentram a maioria dos postos de trabalho, em geral, estão localizadas nas áreas urbanas centrais, e as residências da população de baixa renda concentradas em áreas irregulares ou nas periferias.

Segundo o World Resources Institute – WRI (2015), a mobilidade pode ser mais segura se houver a redução das viagens de carro, associada à escolha por um transporte coletivo seguro – e de alta qualidade – e, se houver boa infraestrutura, por deslocamentos a pé e de bicicleta. É entendido como seguro o projeto de engenharia cuidadoso, o qual visa proteger todos os usuários da via, por meio de melhores travessias e interseções, e, ao mesmo tempo, medidas moderadoras de tráfego que reduzem acidentes de alto impacto. A melhor ocupação do solo por modo de transporte pode ser entendida pela análise da Figura 1, com o número de pessoas que circulam por hora num espaço de 3,5 m de largura em área urbana, de acordo com a escolha modal realizada, segundo a União Internacional dos Transportes Públicos – UITP (2015).

A instituição ainda apresenta o seguinte cálculo: para transportar 10 mil pessoas por um quilômetro, seriam necessários 2 mil automóveis, que ocupariam mais ou menos 24 mil metros quadrados de espaço viário. Já com um ônibus urbano comum, de 12 metros de comprimento, seriam necessários 100 veículos para transportar as mesmas 10 mil pessoas, mas que ocupariam 3,2 mil metros quadrados. Por outro lado, se forem usados ônibus de alta capacidade, como os articulados que circulam no BRT, seriam 50 veículos, que ocupariam 3 mil metros quadrados. Ou seja, em 24 mil metros quadrados, caberiam 10 mil pessoas de carro, mas 80 mil pessoas em ônibus articulados.

Figura 1 – Capacidade máxima dos corredores de transporte urbano, com número de pessoas por hora em ambas as direções, em uma faixa de 3,5 m



Fonte: UITP (2015)

Estudo, trabalho, lazer e outras atividades dos usuários constituem a principal ação que o transporte coletivo traz ao processo de deslocamento urbano. Dessa forma, o planejamento dos sistemas de transporte deve ser plenamente acessível. Tal modelo deve adotar a política de mobilidade com orientação voltada para acessibilidade, combinando normas e especificações de projetos com investimentos no espaço urbano, além dos equipamentos associados aos serviços de transporte coletivo (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2004).

Cabral et al. (2013) afirmam que o transporte coletivo é um elemento essencial quando se trata de mobilidade sustentável. Só com ele é possível reduzir a necessidade de utilização do automóvel para os deslocamentos mais longos, proporcionando inclusão social. Esta grande participação do transporte coletivo na matriz de divisão modal mostra, de certa forma, a quantidade de pessoas que poderão ser beneficiadas por uma política de investimentos em transporte coletivo. Essa abordagem está apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 – Características da mobilidade urbana sustentável perante a abordagem tradicional de gestão de transportes urbanos

Aspectos	Mobilidade – Visão Tradicional	Mobilidade Sustentável – Visão Atual
Definição/atribuições de um sistema de transporte	Viabilizar o fluxo de veículos motorizados.	Deve assegurar, junto com o planejamento do uso do solo, o acesso a bens e serviços eficientemente a todos, com diversidade modal.
Modos priorizados	Principalmente os modos motorizados, vistos como melhores porque são mais rápidos.	Todos os modos, com atenção especial aos não motorizados. Cada modo cumpre uma função na cidade.
Consideração do uso do solo	Indutor de uma ocupação dispersa do solo. Geralmente dissociado do planejamento de uso do solo.	Pensamento integrado. Indutor de adensamento populacional, compactidade e usos mistos.
Estratégias de melhorias favorecidas	Melhoria de vias e aumento da oferta de estacionamentos.	Diversificação da oferta modal e ampliação de modos mais eficientes no uso do espaço urbano.

Fonte: Adaptado de Litman (2004)

Sistema ferroviário

Para Ferraz e Torres (2004), o transporte urbano de passageiros por via férrea, denominado trem urbano ou metropolitano, compreende o transporte de passageiros com características regionais realizado nas grandes metrópoles. Apresenta como características principais: tração elétrica ou diesel; distância entre as estações de 1.000 a 4.000 metros; velocidade operacional de 80 a 100 km/h; carros com largura de 2,5 a

3,2 metros e de 20 a 26 metros de comprimento; capacidade de 150 a 250 passageiros por carro; operação em comboios de 4 a 10 carros, denominados trens-unidades; bilhetagem nas estações e automação variada, desde talões de licenciamento até controles semiautomáticos.

Segundo França (2012), a principal diferença entre o transporte ferroviário regional e o de trens metropolitanos é que os trens metropolitanos estão focados na movimentação de pessoas entre o local onde vivem e onde trabalham diariamente, enquanto que o transporte ferroviário regional opera fora das grandes cidades. Ao contrário do trem de média e longa distância, o trem regional para na maioria das estações, ou em todas, ao longo da linha.

Ele fornece um serviço entre as comunidades ao longo da linha e, também, conexões com serviços de média e longa distância. O transporte ferroviário regional deve ser parte de uma so-

lução integrada de transporte. Individualmente, não será a solução completa.

É necessário estar integrado a uma rede de transporte que deverá envolver outros modos, inclusive outros tipos de serviços ferroviários, para aprimoramento do funcionamento em rede.

De acordo com dados da Supervia (2014), o sistema ferroviário urbano do Grande Rio atravessa 12 municípios, ao longo de 102 estações espalhadas por 270 quilômetros de trilhos e é responsável pelo transporte médio de 700 mil passageiros/dia, com recorde de 735 mil passageiros transportados. Houve recente renovação da frota de trens na forma de investimento para a população, visando maior conforto físico e térmico, totalizando uma frota de 183 trens com ar-condicionado. Um comparativo com alguns sistemas ferroviários é apresentado na Tabela 1, que mostra o potencial de crescimento do sistema de trens urbanos do Rio de Janeiro.

Cidade	Ano de implantação	Demanda diária (pax/dia)	Extensão total (km)	Nº de estações
Madri	1919	1,7 milhão	370,0 km	101
Paris	1900	3,6 milhões	571,0 km	246
São Paulo	1870	2,7 milhões	260,8 km	92
Rio de Janeiro	1858	0,7 milhão	270,0 km	102

Tabela 1 – Comparativo entre trens urbanos

Fonte: Adaptado de Supervia (2014) e Renfe (2015)

Sistema BRT (Bus Rapid Transit)

Segundo o Ministério das Cidades (2008), Bus Rapid Transit (BRT) é um sistema de transporte rodoviário que realiza a mobilidade urbana por meio da provisão de infraestrutura segregada com prioridade de passagem, enfocando uma operação rápida e frequente, suportada por ações de *marketing* e o aprimoramento do serviço aos usuários. Basicamente, esse sistema busca alcançar níveis de desempenho e conforto semelhantes aos de sistemas de transporte sobre trilhos, a um custo menor.

A página BRT Brasil (2015) define BRT como um sistema de transporte coletivo de passageiros que propõe mobilidade urbana rápida, agregada ao conforto, segurança e eficiência, na forma de infraestrutura segregada, permitindo e priorizando ultrapassagens, com operações rápidas e frequentes, tudo isso atrelado a ações de *marketing* e serviços de excelência. Algumas características do sistema aparecem na Figura 2.



Figura 2 – Características principais do sistema BRT

Fonte: Associação Nacional de Empresas de Transportes Urbanos – NTU (2013)

Segundo o Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento – ITDP Brasil (2015), o transporte urbano de passageiros sobre pneus está em processo de modernização para atender, de forma cada vez mais eficiente, às necessidades da população. Esse processo vem ocorrendo de forma gradual, mediante a transformação das relações entre o setor empresarial, os órgãos gestores e a comunidade, que passaram a trabalhar em conjunto, em prol do estabelecimento de serviços e infraestrutura condizentes com os avanços econômico-sociais alcançados nas duas últimas décadas. No atual contexto, os usuários esperam e exigem atendimento com baixo custo, alta confiabilidade, segurança e garantia de participação diária nas diversas atividades espalhadas por todo o espaço urbano. Para atender a essas demandas cada vez mais complexas, a modernização e a transformação dos sistemas de transportes públicos estão diretamente associadas ao uso e aprimoramento do conhecimento e da experiência acumulada pelo setor.

Ainda segundo o instituto, a implantação dos sistemas BRT (Bus Rapid Transit) nas cidades brasileiras é, sem dúvida, um dos passos mais importantes para que o transporte urbano de passageiros seja realmente eficiente e em alinhamento com as expectativas da população. Originalmente concebidos, testados, operados e aprovados em Curitiba, Brasil, os sistemas BRT tornaram-se referências internacionais de transporte coletivo de alto desempenho, qualidade e baixo custo. Hoje, diversas cidades do mundo utilizam o conceito BRT como o principal modo de transporte de massa e como espinha dorsal para políticas sustentáveis de desenvolvimento urbano.

A necessidade de melhorias no sistema de transporte coletivo da cidade sobressai ainda mais pelo fato de a cidade do Rio de Janeiro ter sido uma das sedes da Copa das Confederações em 2013, da Copa do Mundo em 2014 e o palco principal dos Jogos Olímpicos de 2016.

Em meio a esse cenário, surgiu a oportunidade de implantação do sistema BRT no Rio de Janeiro, sistema esse que teve seu primeiro corredor ligando a Barra da Tijuca a Santa Cruz e Campo Grande, o que resultou na redução pela metade do tempo médio de viagem de seus passageiros, nesse trecho do corredor denominado Transoeste. O sistema é composto por quatro corredores, denominados Transoeste, Transcarioca, Transolímpica e Transbrasil – totalizando 150 km de corredores exclusivos para os ônibus de alta capacidade.

Pelo ITDP (2015), o sistema BRT pode complementar os serviços ofertados pelos sis-

temas ferroviários e metroviários, especialmente quando esses não apresentam alta capilaridade e se concentram apenas nos grandes eixos de demanda. Prover a integração entre esses sistemas estimula o uso do transporte coletivo. Observe-se que o terminal do BRT deve ter capacidade suficiente para acomodar todos os passageiros que vierem de sistemas integrados, como vindos do trem ou metrô. Além disso, o sistema BRT deve ter frequência compatível para o atendimento da demanda nos pontos de integração com sistemas que utilizam veículos de maior capacidade que o veículo do BRT.

Mobilidade urbana do Rio de Janeiro

A priorização de um sistema de mobilidade mais sustentável contribuiu para reduzir todos os impactos negativos do uso massivo e indiscriminado do automóvel nas nossas cidades: acidentes de trânsito, congestionamentos, poluição atmosférica, desumanização do espaço urbano e perda de eficiência econômica das cidades, dentre outros, e proporciona a melhoria da qualidade de vida e o desenvolvimento urbano.

No contexto fluminense, a Federação das Indústrias do Rio de Janeiro – Firjan (2015) estimou o custo anual dos congestionamentos, englobando as perdas de produção da população economicamente ativa e os gastos com combustíveis, o que teria acarretado um prejuízo, em 2013, de 29 bilhões de reais, o equivalente a 8,2% do PIB metropolitano.











Dentre as 37 áreas metropolitanas pesquisadas pela Firjan, a que registrou o maior tempo de deslocamento foi a do Rio de Janeiro, onde 2,8 milhões de trabalhadores levaram, em média, 141 minutos nas viagens casa – trabalho – casa.

De acordo com estudo da empresa holandesa de tecnologia de transporte TomTom (2015), o Rio de Janeiro se encontra em quarto lugar numa escala global baseada no nível de congestionamento, envolvendo cidades com população maior do que 800.000 habitantes.

É importante destacar que o estudo, ao apresentar o nível de congestionamento, leva em consideração o percentual de acréscimo em tempo que se leva para trafegar nas vias das cidades analisadas, comparando-se esse tempo a uma situação de livre trânsito nas mesmas vias. As setas em vermelho e verde indicam o acréscimo e decréscimo de congestionamento, respectivamente, em relação ao ano anterior. Nas colunas pico matutino e pico vespertino, pode-se analisar o acréscimo de tempo quando comparado à situação de trânsito livre, em ambos os períodos do dia, nestas vias.

A Tabela 2 mostra as dez primeiras cidades em que foi analisado o trânsito dentre 295 cidades, de 38 países e seis continentes. Um dos resultados da pesquisa revelou que os cariocas desperdiçaram 165 horas no trânsito no ano de 2015. O estudo mostra média de 47% de acréscimo no tempo de viagem, em 2015, e queda de 4% em relação a 2014 (seta verde na Tabela 2), quando o carioca gastava 51% a mais do tempo de viagem. Na pesquisa da TomTom, o Rio de Janeiro aparece atrás apenas da Cidade do México (59%), Bangkok (57%) e Istambul (50%) e entre os nove municípios brasileiros avaliados aparece em primeiro lugar em congestionamento, seguido por Salvador e Recife.

Tabela 2 – Ranking de congestionamentos por cidades no mundo

Ranking Mundial	Cidade	País	Nível de Congestionamento	% incremento	Pico Matutino	Pico Noturno
1º	Cidade do México	México 	59%	4% ▲	97%	94%
2º	Bangkok	Tailândia 	57%	N/A	85%	114%
3º	Istambul	Turquia 	50%	8% ▼	62%	94%
4º	Rio de Janeiro	Brasil 	47%	4% ▼	66%	79%
5º	Moscou	Rússia 	44%	6% ▼	71%	91%
6º	Bucaresta	Romênia 	43%	2% ▲	83%	87%
7º	Salvador	Brasil 	43%	3% ▼	67%	74%
8º	Recife	Brasil 	43%	2% ▼	72%	75%
9º	Chengdu	China 	41%	5% ▲	73%	81%
10º	Los Angeles	Estados Unidos 	41%	2% ▲	60%	81%

Fonte: Adaptado de TomTom (2015)

Esse cenário de caos urbano tem que ser revertido, e a integração entre os modos de transportes passa a ser uma solução viável e que começa a ser implementada de forma gradativa no município do Rio de Janeiro.

Nesse município, a integração modal entre diferentes operadores ocorria apenas entre os sistemas ferroviários, devido à facilidade de ambos estarem sobre trilhos. Com o advento do BRT, porém, esse cenário começou a receber novas proporções na questão de integrações físicas. Atualmente, a Estação Madureira é onde se realiza a integração entre o BRT e o trem (Figura 3), os dois sistemas estudados, conectando os ramais Deodoro, Japeri e Santa Cruz do sistema de trens da Supervia ao corredor Transcarioca.

Figura 3 – Estação multimodal de Madureira



Fonte: Gonçalves (2015)

Inaugurado em julho de 2014, o BRT Transcarioca quase dobrou a quantidade de passageiros que embarcam diariamente na estação de trem de Madureira, que fica ao lado do corredor exclusivo para ônibus.

O balanço da Supervia aponta que os embarques na Estação Madureira, cresceram de 23 mil por dia, em maio de 2014, para 42 mil, ao fim de 2015. Segundo Ribeiro (2015), um dos pontos centrais dos planos para transformar a mobilidade no Rio, a integração de diferentes modos de transportes registrou um salto significativo nos últimos anos.

De acordo ainda com a Supervia (2014), a fim de suportar a demanda, desde outubro de 2014, os intervalos entre os trens foram reduzidos de dez para seis minutos no ramal Deodoro, e os ramais Japeri e Santa Cruz passaram a contar com viagens expressas, parando apenas em estações estratégicas.

ESTUDO DE CASO

O estudo de caso está baseado em verificar a integração entre o BRT e o trem por meio de uma pesquisa de campo em que foi elaborado um questionário com o intuito de avaliar, sobretudo, a percepção dos usuários em relação aos atributos dessa integração.

Segundo Reck (2011), o usuário utiliza o sistema de transporte por necessidade de deslocamento para cumprir um objetivo específico, ou seja, deslocar-se de um local de origem para um determinado destino por algum motivo, numa determinada hora, realizando determinado trajeto, utilizando o modo de transporte que achar mais conveniente, ponderando uma série de atributos dos serviços disponíveis para avaliar qual será o mais eficiente para seu deslocamento. Portanto, os atributos de cada um dos sistemas devem sempre ser revistos para atender da melhor maneira o cliente, assim como a integração deve ser mantida de modo que haja um desempenho satisfatório.

Para medir as características que determinam a qualidade da integração do transporte público entre ônibus e trem, executou-se uma pesquisa de opinião, por meio da aplicação de um questionário aos usuários, dividido em três partes. A primeira parte foi um breve perfil do usuário e do seu deslocamento, a segunda parte apresentava, como principal finalidade, conhecer as classificações de opiniões emitidas por notas, sendo atribuídos níveis de satisfação e a terceira parte consistia em saber o grau de importância dos principais indicadores de qualidade para a utilização do sistema BRT.

Antes de empreender a análise detalhada, foram verificadas a consistência e a integridade das respostas, com o intuito de controlar questionários incoerentes ou incompletos e validar a quantidade de questionários respondidos.

O formulário foi aplicado em uma amostra aleatória de 123 usuários do transporte público por ônibus e trem, propiciando uma amostragem de 9% da população de passageiros. A pesquisa foi realizada em dias típicos nos horários de pico da manhã, abordando pessoas oriundas do BRT ou do trem na Estação Madureira.

O método de entrevista utilizado foi o presencial, permitindo bom índice de resposta dos usuários abordados e tendo-se, inclusive, a observação e apontamentos da percepção espontânea e externa às perguntas fechadas, que contribuem para eventuais soluções. Para garantir a qualidade das respostas, foram considerados alguns procedimentos, como a abordagem ao explicar os objetivos da pesquisa, o questionário e o esclarecimento de eventuais dúvidas.

Com os dados coletados, utilizou-se uma técnica de análise de dados quantitativos. A análise tem como objetivo organizar os dados de forma que fique possível o fornecimento de respostas para o problema proposto. Em relação

às formas que os processos de análise de dados quantitativos podem assumir, tomando-se como referência Gerhardt e Silveira (2009), observam-se, em boa parte das pesquisas, os seguintes passos: estabelecimento de categorias; codificação e tabulação; e análise estatística dos dados.

Os dados qualitativos foram transformados em notas para que se pudessem equalizar as respostas e verificá-las de forma numérica.

Pesquisa de campo

A pesquisa de campo teve como foco especificamente os usuários da integração entre o sistema BRT Transcarioca e o sistema de trem na Estação Madureira.

A todo o momento, a pesquisa de campo voltou-se à coleta de dados capazes de quantificar e qualificar preferências dos clientes quanto à integração modal (física e tarifária) e também quanto aos serviços prestados pelo BRT em questão, a fim de se obterem resultados que possam ser utilizados para o processo de melhoria contínua do transporte público e do uso de integrações entre os modos de transportes, assim como para a mobilidade urbana em toda a cidade do Rio de Janeiro.

Buscando ser o mais eficiente possível, as pesquisas foram bem direcionadas à demanda-alvo. Foram realizadas em dias e horários considerados de pico de passageiros, visando alcançar o público que utiliza a integração e que pudessem trazer informações mais precisas e realistas. A Tabela 3 traz, em resumo, as atividades e datas da realização da pesquisa de campo.

Tabela 3 – Resumo do cronograma das entrevistas da pesquisa de campo

Data	Dia da semana	Horário da pesquisa	Estação
15/03/2016	Terça-feira	06h30 – 10h30	Madureira
17/03/2016	Quinta-feira	06h30 – 10h30	Madureira

Fonte: Elaborado pelos autores (2016)


O questionário elaborado para a pesquisa buscava, nas primeiras perguntas, identificar o perfil do entrevistado (usuário) com idade e gênero, bairro ou estação de origem e destino, forma de deslocamento anterior e uso de demais modos complementares à viagem.

O próximo questionamento ao entrevistado tinha o intuito de qualificar a facilidade de integração entre as estações de BRT e trem e os serviços prestados pelo sistema BRT, em uma escala de 0 a 5. Ao ser questionado, o usuário

tomava conhecimento sobre os conceitos para a avaliação: os índices 0, 1, 2, 3, 4 e 5 correspondiam a muito ruim, ruim, regular, bom, ótimo e excelente, respectivamente.

Ao final, o usuário era questionado quanto à principal característica motivacional (dentre as qualificadas anteriormente), que o levara a mudar seu método de deslocamento anterior e a optar pela utilização do sistema BRT juntamente com o trem (Figura 4).

Figura 4 – Questionário utilizado para pesquisa de campo

	PESQUISA COM USUÁRIOS SOBRE INTEGRAÇÃO DO SISTEMA BRT COM O TREM - ESTAÇÃO DE MADUREIRA, RIO DE JANEIRO - RJ		
	FEMININO ()	MASCULINO ()	IDADE: _____
Chegou à estação de trem utilizando o Sistema BRT? Sim () Não ()			
Qual seu bairro/estação de origem? _____		Qual seu bairro/estação de destino? _____	
Como fazia esse mesmo itinerário antes do BRT?			
Ônibus + Metrô () Ônibus + Ônibus () Trem + Metrô () Van + Metrô () Outros ()			
Utiliza mais algum modal de transporte para completar sua viagem?		BRT () Metrô () Ônibus () Trem () Van () Carro ()	
A pé () Barcas () Bicicleta () Outros: _____			
Em uma escala de 0 a 5, como avalia a facilidade de transbordo de um modal para outro? _____			
Faça uma avaliação quanto à qualidade dos aspectos mencionados abaixo, numa escala de 0 a 5.			
RAPIDEZ / TEMPO DE VIAGEM () CONFORTO TÉRMICO () CONFORTO FÍSICO () SEGURANÇA () CUSTO ()			
Dos aspectos avaliados acima, qual foi o principal motivador para começar a utilizar o Sistema BRT? _____			

Toda vez que se realiza uma pesquisa, é fundamental que seja feita uma análise prévia de tamanho de amostra, para que, dessa forma, seja possível prever um erro amostral, que, sendo inevitável, precisa ser suficientemente tolerável. O método adotado para quantificar a amostra foi de amostragem aleatória simples, em que, conforme explica Barbetta (2002), cada subconjunto da população com o mesmo número de elementos tem a mesma chance de ser incluído na amostra. Como fórmula para cálculo do tamanho da amostra foram utilizadas as equações 1 e 2.

$$n_0 = \frac{1}{E_0} \quad (1) \quad n = \frac{N \cdot n_0}{N + n_0} \quad (2)$$

Onde:

N = Tamanho da população

E_0 = Erro amostral tolerável

n_0 = 1ª aproximação do tamanho da amostra

n = Tamanho da amostra

O erro amostral adotado foi de 9% para o trem, que poderia ter sido reduzido para maior representatividade das respostas, no entanto, por se tratar de um trabalho acadêmico, com restrição de quantidade de pesquisadores, admitiu-se esse erro como tolerável.

Segundo a Fetranspor (2016), diariamente, durante o horário de pico, 3.598 usuários realizam integração com o trem na Estação Madureira, tendo-se como referência o mês de novembro de 2014, e de acordo com dados da bilhetagem eletrônica.

Ao fazer o cálculo levando-se em consideração o erro amostral de 9% e população de 3.598 usuários que realizam integração, com a aplicação das equações 1 e 2, chega-se ao tamanho de amostra necessária de 119 entrevistados na Estação Madureira. Durante a pesquisa, foram validadas as entrevistas de 123 pessoas.

Resultados

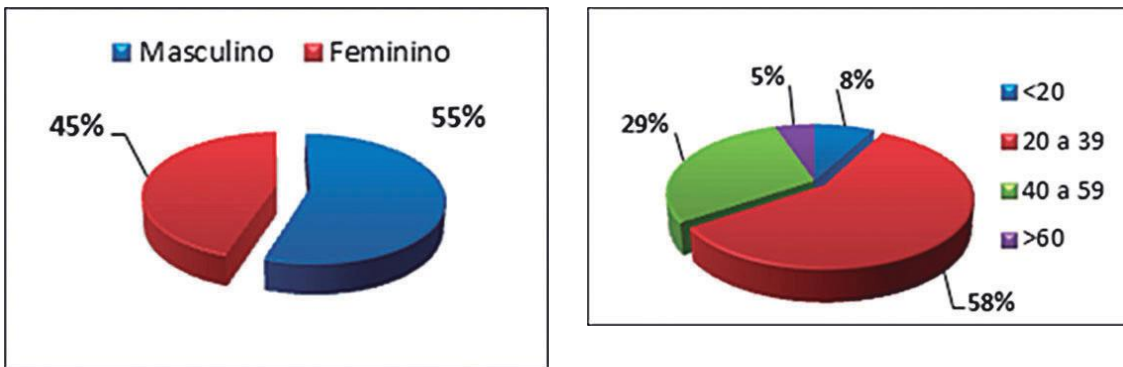
Serão apresentadas apenas as análises resultantes da integração. Ainda que se tenham avaliado os atributos do sistema BRT e que haja possibilidade de análise cruzada de resultados com a caracterização da demanda, serão apresentados os resultados de forma comparativa e apenas para avaliar como está se dando essa integração. Restringindo-se ao objetivo do artigo, a Tabela 4 apresenta a média geral dos atributos do sistema BRT.

Tabela 4 – Conceitos obtidos em cada atributo das características do BRT

	Rapidez/ Tempo de viagem	Conforto térmico	Conforto físico	Segurança	Custo tarifário	Avaliação do transbordo
Média geral	4,31	3,54	2,76	2,51	2,62	3,84

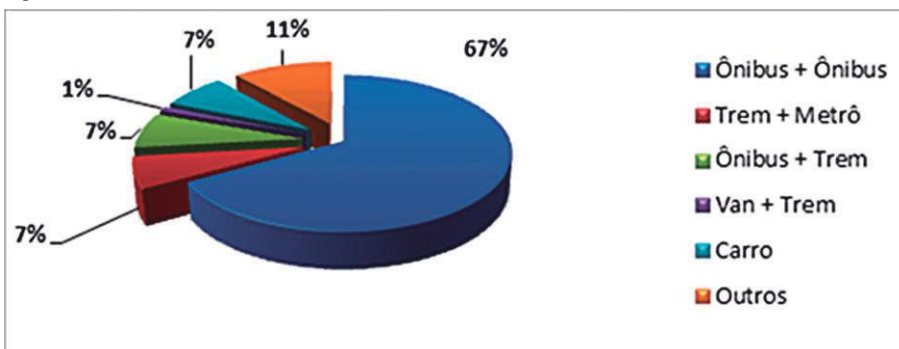
Para mostrar que não houve tendência na amostra, as Figuras 5 e 6 caracterizam os usuários entrevistados.

Figuras 5 e 6 – Percentual dos gêneros e faixa etária dos usuários entrevistados



Quando questionados sobre como realizavam seu deslocamento anteriormente à implantação do BRT, a grande maioria respondeu que fazia o percurso com dois ônibus e esse número de pessoas que utilizavam somente integrações entre ônibus de fato tenderia a ser maior, visto que a capilaridade da integração intermodal era bem menor antes do sistema BRT. Analisando-se a Figura 7, percebe-se a absorção de usuários que esta integração permitiu, de modo a tanto reduzir o tempo entre as integrações anteriores, quanto mitigar o uso de veículos particulares, que correspondem a 7% dos entrevistados que utilizavam o carro como de transporte ao realizar seu deslocamento.

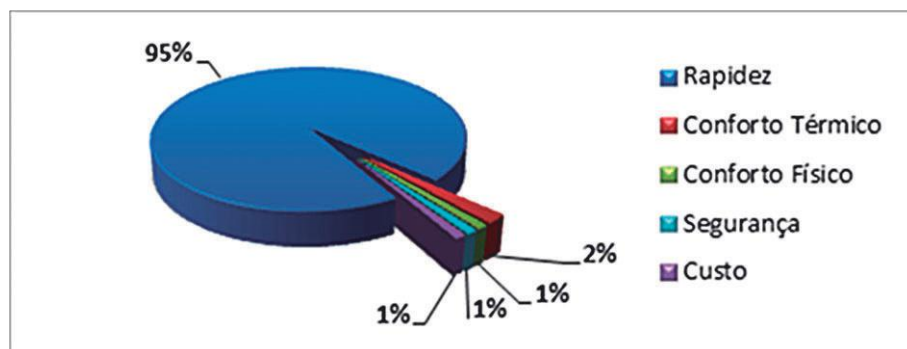
Figura 7 – Modo como era realizado o deslocamento antes do BRT



A Transcarioca, por ser o corredor de BRT de mais recente implantação à época da pesquisa, tende a obter, teoricamente, resultados mais satisfatórios. Em relação aos seus serviços, foi também analisado, por fim, qual das opções pontuadas foi a influenciadora para a utilização do sistema BRT. A opção quase que unanimemente pontuada foi a rapidez, conforme Figura 8, com 118 usuários avaliando esse atributo como principal motivador (95%), assim ressaltando a confiabilidade do sistema em relação à garantia do tempo de viagem, visto que o sistema

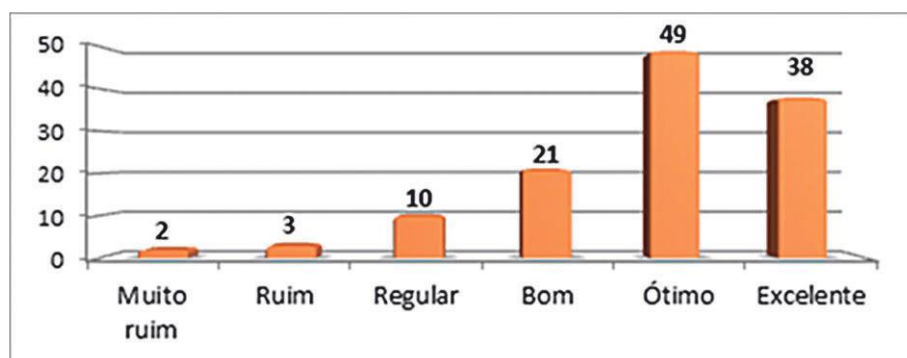
proporcionou um ganho de tempo significativo em relação a outros modos de transporte, realizando o mesmo trajeto. Dois usuários afirmaram que optaram pelo conforto térmico, fator de que não se dispõe na maior parte dos ônibus convencionais, e, quando existente, é cobrada uma tarifa maior. E nos quesitos segurança, conforto físico e custo, apenas um usuário elegeu cada uma destas opções, o que mostra a diversidade de opiniões daqueles que utilizam diariamente o sistema, porém de forma praticamente inexistente frente à imensa opinião do quesito rapidez.

Figura 8 – Motivação para migração da integração do BRT com outro trem



Além do questionamento acerca dos atributos do BRT, foi avaliado também o transbordo entre os modos de transporte e, apesar de algumas críticas – tais como falta de cobertura, largura da passarela e restrições de acessibilidade, visto que os elevadores nem sempre estão funcionando –, os usuários reconhecem essa opção como boa a ótima, e deram uma média de 3,84 para a integração física entre o trem e o BRT, qualificando-a entre os conceitos bom e ótimo. A representação quantitativa das avaliações do transbordo pode ser observada na Figura 9.

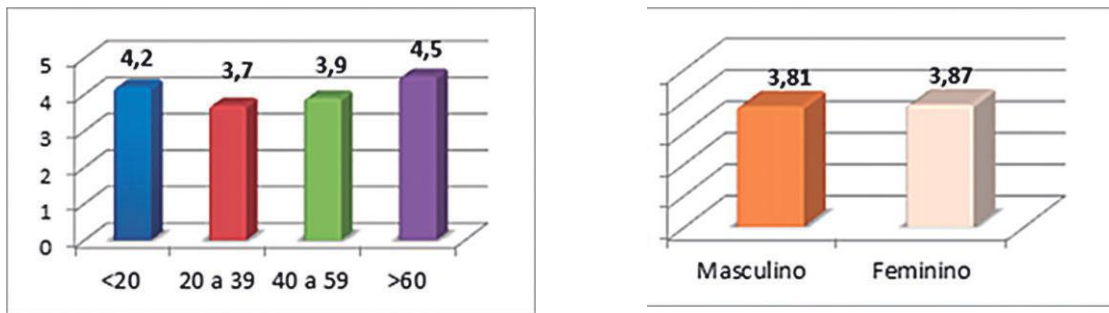
Figura 9 – Quantitativo de notas em avaliação do transbordo



A integração foi avaliada em relação às opiniões de cada faixa etária, sendo que os entrevistados acima de 60 anos foram responsáveis pela melhor média nesse atributo, conforme Figura 10. Essa média representa um fator interessante, dado que, geralmente, os maiores de 60 anos são mais críticos em relação à integração física, por terem, muitas vezes, dificuldades de locomoção, e ainda assim conceituaram o transbordo de ótimo a excelente, em média.

O transbordo realizado para integração física entre o trem e o BRT, em relação ao gênero dos entrevistados, foi mais bem avaliado pelos usuários do gênero feminino. Ambos os gêneros mantiveram avaliações médias próximas, qualificando o transbordo entre bom e ótimo (Figura 11).

Figuras 10 e 11 – Avaliação do transbordo em relação à faixa etária e ao gênero dos entrevistados



Em relação às zonas de origem, os usuários que originaram da Zona Norte foram os que melhor avaliaram o custo do sistema, porém, pode-se observar, a partir da Figura 12, que a melhor média não está muito acima da pior média, o que demonstra certo nivelamento de opiniões, independente do bairro de origem da viagem, evidenciando que este atributo está qualificado entre regular e bom (entre 2 e 3), em relação à opinião média dos usuários originários de todas as zonas.

Figura 12 – Avaliação do transbordo em relação ao bairro de origem do entrevistado

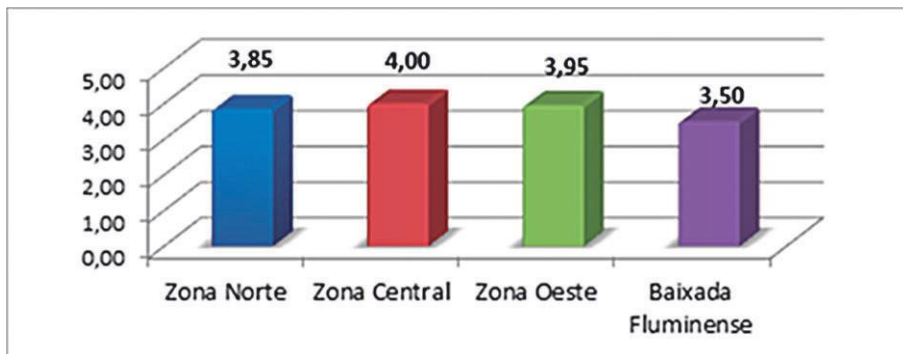
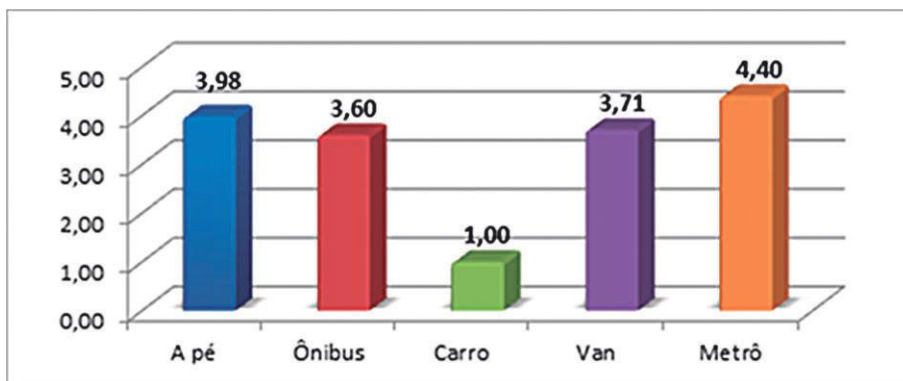


Figura 13 – Avaliação de transbordo em relação ao complemento de viagem



Em relação aos entrevistados que utilizam complemento de viagem com outros modos, a melhor avaliação do transbordo foi dos que utilizam o metrô como complemento, qualificando o transbordo como ótimo a excelente. Conforme Figura 13, pode-se observar que os usuários que utilizam van, ônibus ou realizam o complemento de viagem a pé qualificaram o transbordo entre bom e ótimo (notas entre 3 e 5). A pior avaliação foi dos usuários que utilizam carro como complemento modal, que qualificaram o transbordo como ruim (nota 1).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As decisões acerca do futuro do transporte devem acompanhar as tendências de crescimento das cidades, sem permitir a degradação do espaço urbano, de modo a não provocar prejuízos em nenhuma das partes do sistema: nem dos planejadores, nem dos operadores, nem dos usuários.

Foi possível identificar a transferência dos usuários das linhas convencionais de ônibus que foram extintas para o sistema BRT, garantindo o usuário cativo no sistema de transporte público. Mas faz-se necessário o estudo de impacto em algumas regiões que têm solicitado mais linhas convencionais, como possíveis regiões para expansão do sistema BRT. Enquanto isso, deve-se prover linhas alimentadoras eficientes que atendam às regiões de modo a não ocasionar o efeito oposto ao intencionado pela implantação do sistema, que é o de reduzir o tempo de viagem.

Para acompanhar o comportamento dos usuários com relação à integração entre o BRT e outros modos, recomenda-se ampliar os estudos de integração entre BRT e trem para fins de melhoria da qualidade do serviço. É importante

ressaltar a necessidade de realização periódica dessas pesquisas ao longo dos anos, objetivando acompanhar os níveis de satisfação junto à evolução dos sistemas.

O Rio de Janeiro ainda está muito longe de estratégias de transporte alternativo, como bicicletas, para complementos de viagens, o que foi constatado devido a nenhum dos usuários entrevistados utilizaram esse modal como complemento de sua viagem, apesar de ser uma alternativa de imenso valor.

Para a construção da imagem do BRT como um sistema rápido e eficiente – já que a rapidez foi apontada pela pesquisa como conceito mais atribuído ao incentivo para o uso do sistema –, deve ser realizada manutenção e revisão dos serviços, principalmente, no intervalo entre veículos (*headways*), que foi a principal reclamação dos usuários, os quais comparam o início do funcionamento do sistema com os dias atuais, alegando que esses intervalos aumentaram.

Após análise de todos os dados, entende-se que a solução de integração modal é o ponto crucial para o desenvolvimento do transporte público na cidade e no estado do Rio de Janeiro, suprimindo a necessidade por décadas ausente, porém apontando a um futuro que coloca o sistema de transporte público nos requisitos ideais para mobilidade urbana de megacidades, ao manter o trecho de alta demanda com um modal de transporte de alta capacidade, integrado a outros modos de alta capacidade e com baixos custos.

É indubitável que a implantação do sistema em pleno funcionamento acarretará benefícios ainda maiores e que o BRT venha a ter maior impacto na cidade do Rio de Janeiro, permitindo a melhor fluidez do tráfego em zonas anteriormente condenadas a congestionamentos intensos.

REFERÊNCIAS

- BARBETTA, Pedro Alberto. *Estatística aplicada às ciências sociais*. 5. ed. Porto Alegre: Ed. da UFSC, 2002. cap. 3.
- BONFIM, I. *Uma contribuição à mobilidade urbana sustentável: estudo de caso da cidade de Juiz de Fora*. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Coppe/UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.
- BRT BRASIL. *O que é BRT?* Disponível em: <<http://www.brtbrasil.org.br>>. Acesso em: 16 dez. 2015.
- CABRAL, Richele et al. *Guia da mobilidade sustentável: uma cidade melhor para uma vida melhor*. Rio de Janeiro: Fetranspor, 2013.
- FERRAZ, Antonio “Coca” Pinto; TORRES, Isaac Guillermo Espinosa. *Transporte público urbano*. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2004.
- FIRJAN. *O custo dos deslocamentos nas principais áreas urbanas do Brasil*. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-economia/o-custo-dos-deslocamentos-nas-principais-areas-urbanas-do-brasil.htm>>. Acesso em: 14 jan. 2016.
- FRANÇA, Hélio Mauro. *Trens regionais: uma necessidade que se impõe – Trem regional de passageiros de alta velocidade*. Brasília, nov. 2012. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/10279016-Trens-regionais-uma-necessidade-que-se-impoe-trem-regional-de-passageiros-de-alta-velocidade-implantacao-do-tav-rio-de-janeiro-campinas.html>>. Acesso em: 16 dez. 2015.
- GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo (Org.). *Métodos de Pesquisa*. Coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.
- GONÇALVES, Fábio. [Sem título]. 20 jun.2015. 1 fotografia. In: O DIA. Foto apresentada em BRT aumentou a integração entre os transportes. Disponível em <<http://odia.ig.com.br/noticia/observatorio/2015-06-20/brt-aumentou-integracao-entre-meios-de-transporte.html>>. Acesso em: 9 jan. 2016.
- INSTITUTO DE POLÍTICAS DE TRANSPORTE E DESENVOLVIMENTO – ITDP Brasil. *Análise de impacto do BRT Transcarioca na mobilidade urbana do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: ITDP Brasil, 2015.
- LITMAN, T. A. Transit price elasticities and cross-elasticities. *Journal of Public Transportation*, Tampa-FL, v.7, n. 2, p. 37–58, 2004.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Transporte e Mobilidade Urbana. *Manual de BRT – Bus Rapid Transit: Guia de Planejamento*. Brasília: Ministério das Cidades, 2008.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES. *Política Nacional de Mobilidade Urbana Sustentável*. Brasília, 2004. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br>>. Acesso em: 29 mar.2016.
- NTU – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS. *Mobilidade Sustentável: para um Brasil mais competitivo*. Associação Nacional das Empresas de Transporte Urbano. Brasília: NTU, 2013.
- OLIVEIRA, Gilmar Silva de. *Integração tarifária temporal nos sistemas de transporte público por ônibus*. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Coppe/UFRJ. Rio de Janeiro, 2013.
- RECK, Garrone. *Transporte público*. Departamento de Transportes da Universidade Federal do Paraná – UFPR. Paraná, 2011. Apostila. Disponível em: <http://www.dtt.ufpr.br/Transporte%20Publico/Arquivos/TT057_Apostila.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2015.
- RENFE. Informações sobre modal ferroviário de Madrid e Cercanias. Disponível em: <http://www.renfe.com/>> Acesso em: 22 out. 2015.
- RIBEIRO, Gustavo. BRT aumentou integração entre meios de transporte. *O Dia*. Rio de Janeiro, 20 jun. 2015. Disponível em: <<http://odia.ig.com.br/noticia/observatorio/2015-06-20/brt-aumentou-integracao-entre-meios-de-transporte.html>>. Acesso em: 12 mar. 2016.
- SUPERVIA. *Passageiros da Supervia podem chegar a mais lugares do Rio com a nova integração em Madureira*. 2014. Disponível em: <<http://www.supervia.com.br/noticia/passageiros-da-supervia-podem-chegar-a-mais-lugares-do-rio-com-a-nova-integracao-em-madureira/751-2014>>. Acesso em: 9 jan. 2016.
- TOMTOM. *Measuring congestion worldwide*. TomTom Americas Traffic Index. 2015. Disponível em: <https://www.tomtom.com/pt_br/traffic-cindex/>. Acesso em: 30 jan. 2016.
- UITP – UNIÃO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE PÚBLICO. *UITP Public Transport Trends*. 2015.
- WRI BRASIL. *BRT – Bus Rapid Transit*. Disponível em: <<http://wricidades.org/BRT>>. Acesso em: 4 dez. 2015.

DADOS DOS AUTORES

Eunice Horácio de Souza de Barros Teixeira (eunice.horacio@gmail.com), M.Sc. em Engenharia de Transportes pela Coppe/UFRJ, engenheira civil e professora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico (EBTT) do Departamento de Engenharia Civil do Cefet/RJ.

José Artur d’Oliveira Mussi (arturmussi@gmail.com), mestre em Tecnologia pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ), engenheiro civil, professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico (EBTT) e chefe do Departamento de Engenharia Civil do Cefet/RJ.

Ronaldo Balassiano (ronaldo@pet.coppe.ufrj.br), pós-doutor pela University of California, Berkeley, PhD. em Engenharia de Transportes na University of Westminster, M.Sc. em Planejamento Energético e Ambiental, M.Sc. em Engenharia de Transportes, engenheiro civil, professor associado do Programa de Engenharia de Transportes/Coppe/UFRJ.

Rosana Dischinger Miranda (rosanacefetrj@gmail.com), M.Sc. em Tecnologia pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ), engenheira civil, professora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico (EBTT) e chefe substituta do Departamento de Engenharia Civil do Cefet/RJ.

Victor Rodrigues do Amaral (rodrigues.victor@live.com), engenheiro civil pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ).

TURBIDEZ EM ORGANISMOS AQUÁTICOS: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E SUAS IMPLICAÇÕES LEGAIS

Bruno Villardi

Gandhi Giordano

Olavo Barbosa

RESUMO: As questões sobre poluição aquática carecem de estudo mais aprofundado, pois, devido à grande quantidade de resíduos sólidos e efluentes, a contaminação de ambientes aquáticos se torna inevitável. Um parâmetro de qualidade das águas para consumo é a turbidez causada por sólidos em suspensão presentes na água. De acordo com os autores aqui discutidos, sedimentos finos são definidos como partículas inorgânicas de tamanhos entre 0,45µm até 2 mm, dentre os quais os sedimentos finos de origem antropogênica são reconhecidos como os maiores contaminantes de ecossistemas aquáticos. No presente trabalho se discute a mortalidade de organismos decorrente da turbidez causada a partir de uma determinada quantidade de sedimentos suspensos e como a respectiva legislação aborda o assunto. Conclui-se que a Resolução da CONAMA nº 357 utiliza valores de turbidez acima de outras legislações, desconsiderando efeitos sobre organismos aquáticos.

Palavras-chave: Turbidez. Organismos aquáticos. Legislação. Filtração.

ABSTRACT: The issues of water pollution need to be studied and deepened, because due to the large amount of solid wastes and effluents the contamination of aquatic environments becomes inevitable. Turbidity, which is caused by the presence of solids in suspension is a measure of the quality of consumption water and industrial wastewater. According to several authors here discussed, fine sediments are defined as inorganic particles with sizes among 0,45µm up to 2 mm. The fine sediments of anthropogenic origin are recognized as major aquatic ecosystems contaminants. In this paper, the discussion about a certain amount of suspended sediments causing turbidity that will cause the mortality of aquatic organisms. A discussion is also made about some of the current laws and regulations across the issue. It is concluded that the CONAMA's No. 357 resolution adopts turbidity values above other environmental laws disregarding effects over aquatic organisms.

Keywords: Turbidity. Aquatic organisms. Legislation. Filtration.

INTRODUÇÃO

A turbidez em corpos hídricos é também gerada por sedimentos finos de origem antropogênica, ou seja, provenientes de atividades humanas. Esses sedimentos finos são reconhecidos como o maior contaminante de ecossistemas aquáticos (BILOTTA; BRAZIER, 2008; CLAPCOTT et al., 2011). Esse parâmetro é formado por várias substâncias: algas microscópicas como fitoplânctons, bactérias, substâncias orgânicas dissolvidas que mancham a água, partículas suspensas de argila e sólidos coloidais (HARGREAVES, 1999). Para classificar a turbidez, realiza-se a mensuração da propriedade da luz dispersa em uma solução contendo partículas suspensas ou coloides (METCALF; EDDY, 2014).

Outro parâmetro de qualidade da água denominado Sólidos Suspensos Totais (SST) é definido pela Apha (2005) como uma variedade de material sólido encontrado em corpos hídricos, mediante coleta de uma amostra de efluente ou água de outros corpos aquáticos, utilizando um filtro membrana de fibra de vidro e evaporando esta amostra. O que permanecer na amostra é sólido suspenso (APHA, 2005).

A diferença entre turbidez e sólidos suspensos totais é que a turbidez mensura como a luz penetra na água, o que depende também da composição e do tamanho do material particulado suspenso, podendo ser afetada pela matéria orgânica dissolvida; já os sólidos suspensos totais são definidos pelo peso da matéria sólida por volume da água (ROBINSON, 2009).

Assim, turbidez tem uma forma de mensuração mais simples, pois utiliza somente um instrumento, enquanto os sólidos suspensos totais (SST) necessitam de filtração, secagem, e pesagem de grandes volumes de amostras.

Segundo Cavanagh (2014) a mensuração de sedimentos suspensos na água é feita por níveis de turbidez em NTU – Nephelometric Turbidity Units – ou pela concentração de sedimentos suspensos em mg/L.

Sedimentos ou sólidos suspensos podem estar presentes em grandes quantidades em áreas já afetadas por atividades como a mineração.

Embora os efeitos dos sedimentos finos ainda não sejam completamente compreendidos, já são conhecidos quais limites aceitáveis podem ocorrer para a mortandade e a mudança de comportamento de organismos aquáticos.

Diferentemente de outros poluentes, como pesticidas, fármacos e remédios, os sedimentos

suspensos são encontrados na natureza como componentes do ecossistema aquático e também têm importância no funcionamento ecológico desses sistemas.

SEDIMENTOS SUSPENSOS NO MEIO AQUÁTICO

Denominam-se sedimentos as partículas transportadas por processos da natureza, como água, vento e geleiras, e depois depositadas (BILOTTA; BRAZIER, 2008).

Em condições normais de correnteza, partículas menores que 0,0625 mm, incluindo coloides, argila, barro e silte, denominam-se sedimentos suspensos. A movimentação dos sedimentos é alterada com correntes de água com velocidades maiores ocorrendo transporte de partículas maiores (CLAPCOTT et al., 2011).

Segundo Gordon et al. (2004), em qualquer ponto de um rio, a quantidade e a mobilidade de sedimentos varia naturalmente durante o tempo, a movimentação de sedimento fino e influenciada pelo escopo do rio, seu relevo, velocidade e descarga de sedimentos. Em águas com correnteza, os sedimentos podem ser definidos pelo tamanho da partícula e pela composição. Também podem ser orgânicos ou inorgânicos na natureza, causando turbidez suspensos nas colunas de água ou depositados no leito dos rios (CLAPCOTT et al., 2011).

· A classificação de Wentworth (1922) caracteriza sedimento pelo tamanho da partícula em barro e silte (<0,0625 mm); areia (0,0625 – 2 mm).

As atividades humanas tais como desenvolvimento urbano e agricultura podem acelerar a sedimentação em rios ou modificar a progressão natural dessa sedimentação. Para Clapcott et al. (2011) a deposição de sedimentos finos ocorre quando as partículas inorgânicas depositadas na nascente do rio apresentam tamanho menor que 2 mm.

Uma das causas de prejuízo da qualidade da água é a presença de excesso de sedimentos suspensos que variam de tamanho na escala de nanopartículas, coloides até o tamanho de grãos de areia. Sedimentos suspensos podem ter uma série de efeitos nas fontes de água, desde questões estéticas até altos custos de tratamento da água, declínio na quantidade de peixes e séria degradação ecológica. Com isso, podem ocorrer problemas nos serviços fornecidos por

ecossistemas aquáticos mundiais cujo valor está estimado em 1,7 trilhões de dólares por ano (COSTANZA et al., 1997).

Conforme estudos preliminares para construção de um oleoduto na costa de Maptaphut, no leste da Tailândia, os sólidos suspensos causados por uma dragagem provocaram aumento da turbidez e redução da penetração da luz. Com isso, ocorreu redução do crescimento e morte de organismos da biota aquática (WORAMUT et al., 2015).

Já nos EUA, para prevenir problemas causados por turbidez e sólidos suspensos, o estado da Florida regulamentou que a turbidez não pode exceder 29 NTU no mar; na Austrália, para proteção dos recifes de corais, foi regulamentado em 199 mg/L de sólidos suspensos durante uma dragagem e, na Tailândia, os sólidos suspensos estão regulamentados seguindo a notificação da National Environmental Board N. 27, B.E. 2549 (2006), não podendo ultrapassar o desvio padrão da soma da média diária ou média mensal ou média anual (WORAMUT et al., 2015).

EFEITOS DOS SEDIMENTOS SUSPENSOS EM ORGANISMOS AQUÁTICOS

Partículas pequenas de argila ficarão em suspensão afetando a penetração da luz e causando prejuízo a organismos pelágicos como peixes e zooplânctons (SPARKS, 2003).

O problema mais comum causado por sedimentos em organismos aquáticos invertebrados é sua mudança no hábitat. Os invertebrados bentônicos vivem acima ou dentro das nascentes de rios, por isso, mudanças em seu hábitat afetarão diretamente sua comunidade. Existe uma grande variedade nas respostas de invertebrados bentônicos para aumento de sedimentos como mudanças na alimentação e crescimento, comportamento, diversidade e abundância, composição da comunidade (WOOD; ARMITAGE, 1997).

Espera-se que águas com turbidez afetem especificamente e criem limitações a certas espécies aquáticas. Estudos com salmões de Birtwell, Farrell e Jonsson (2008) demonstraram o efeito da turbidez em salmões chinook jovens (0-1270 NTU; 0-1000 mgL⁻¹) e salmões coho (5,8 NTU; 2,7-3,0 mgL⁻¹) expostos a períodos de 3 a 9 semanas e 6 meses, mostraram a importância de averiguar que níveis baixos de turbidez tiveram efeito na biota.

A alimentação de invertebrados pode ser diretamente afetada pela obstrução de seu aparelho digestivo, impedindo a alimentação por filtração; efeitos indiretos podem ocorrer, tais como mudanças nas fontes de alimentos e aderência de substâncias tóxicas nos sedimentos (COLLIER, 2002).

Já no ensaio desenvolvido por Chen et al. (2011) utilizando, como biomonitorios, o microcrustáceo *Daphnia magna* e o *Oryzias latipes* (conhecido como peixe-arroz), foi observado o comportamento desses organismos, avaliando-se a influência dos parâmetros temperatura, pH e turbidez. Os equipamentos de biomonitoramento são baseados nas respostas comportamentais de organismos aquáticos (sua sensibilidade). Um Biological Early Warning System (BEWS), que é um sistema de aviso biológico, foi conectado a um monitor de qualidade de água (multi-parameter), a turbidez foi ajustada em 1, 2, 5, 10, 20, 50 e 100 NTU, com diatomito, que é um mineral composto por células unicelulares de plantas aquáticas.

Aturbidez da água está correlacionada não somente com matéria suspensa, mas também com o tamanho da partícula, que varia de 0 NTU para mais de 1000 NTU em dias de chuva. Ainda segundo Chen et al. (2011), a *Daphnia magna* teve uma diminuição em sua movimentação quando ocorreu um aumento da turbidez de 50 NTU e também em 100 NTU; já o peixe-arroz mostrou grande diferença em relação à *Daphnia magna*, pois, em 24 horas com 50 NTU, não mostrou mudança em sua mobilidade, mas, com 100 NTU, mostrou uma mobilidade intensa. Assim, esses resultados sugeriram que a turbidez da água pode afetar o comportamento desses organismos aquáticos.

Existem outros trabalhos sobre avaliação da turbidez e sólidos suspensos utilizando biomonitorios. Turley et al. (2014) avaliaram uma ferramenta de biomonitoramento para sedimento fino. Nesse trabalho, o transporte de sedimentos e materiais particulados de vários tamanhos (coloidal até areia) por rios e oceanos representa uma parte importante do sistema de erosão global, um importante componente dos ciclos biogeoquímicos, importante para a heterogeneidade e o funcionamento ecológico. Entretanto, as atividades antropogênicas causam um desequilíbrio na dinâmica dos sedimentos finos, tanto no meio natural, quanto nas condições padrão, o que pode causar degradação ecológica.

O microcrustáceo *Daphnia*, como organismo filtrador, não distingue durante sua ali-

mentação partículas de comida ou sedimentos suspensos. Assim, a ingestão de quantidade significativa de sedimentos suspensos pode causar uma obstrução no trato intestinal, reduzindo o processamento de alimento (ROBINSON, 2009).

Segundo Robinson (2009), sólidos suspensos afetam diferentes tipos de animais de várias maneiras, indiretamente, quando reduzem a penetração da luz, causando diminuição da fotossíntese de plantas aquáticas. Por esse motivo, há redução no crescimento celular de algas e de outras plantas que servem de fonte de comida para vários organismos aquáticos e peixes. Os efeitos diretos mais comuns são o efeito abrasivo das partículas suspensas, que danificam o tecido das guelras, ou a redução da respiração pela obstrução das guelras, o que leva à redução da resistência a infecções ou doenças, à redução do crescimento ou à mortandade (BILOTTA; BRAZIER, 2008).

Robinson (2009) menciona ainda que também é possível que os sólidos suspensos iniciem uma mudança em parâmetros de qualidade da água. Um exemplo seriam as partículas orgânicas que contidas em sedimentos suspensos causarem um esgotamento do oxigênio dissolvido, aumentando a demanda biológica por oxigênio. O aumento da turbidez reduz a habilidade de caça de peixes que dependem da visão para encontrar comida. A escuridão pode beneficiar tanto as presas quanto os caçadores, pois alguns predadores podem encontrar um contraste entre a presa e suas emissões sonoras.

Existe também o problema de que grandes acréscimos de sedimentos podem causar modificações em ambientes bentônicos usados por peixes na desova e também prejuízo na capacidade respiratória dos peixes causada pela adição de sólidos suspensos que abrasam suas guelras.

Em peixes, os efeitos de sedimentos suspensos ou depositados podem ser diretos ou indiretos, tanto na transparência da água quanto no habitat onde peixes comem e se reproduzem. Kemp et al. (2011) mencionam que níveis altos de sedimentos suspensos podem atingir tecidos e órgãos de peixes. A diminuição na penetração da luz e a claridade da água causam efeitos como mudanças comportamentais até mortandade. A gravidade dos efeitos está associada a fatores como concentração dos sedimentos, frequência ou duração da exposição, forma e tamanho das partículas, poluentes associados, espécie e estágio da vida do organismo em que ocorre a exposição.

Kemp et al. (2011) afirmam que peixes são afetados indiretamente por sedimentos suspensos quando ocorre diminuição da claridade da água (aumento da turbidez), o que tem como consequência alterações nos movimentos migratórios, facilidade ou sucesso em se alimentar e qualidade/quantidade do habitat, causando diminuição nas taxas de crescimento e mudanças na estrutura e tamanho populacional.

McLeay et al. (1987) reportam que danos severos às guelras tendem a ocorrer em níveis relativamente altos de sedimentos suspensos (>500 mg/L), mas ocorrem respostas diferentes entre espécies e estágios de desenvolvimento. Algumas espécies têm danos mínimos ou nenhum dano em altas concentrações de sedimentos suspensos, por exemplo, o peixe grayling do Ártico. Em contraste, longos tempos de exposição a baixos níveis de sedimentos suspensos (100 mg/L) podem causar danos moderados.

Trabalhos como os de Lake e Hinch (1999) mostraram uma diminuição nas taxas de crescimento, o que levou os autores a afirmar que partículas sedimentadas menores podem ser mais prejudiciais às guelras do que partículas grandes.

Sutherland e Meyer (2007) citaram que a redução nas taxas de crescimento em duas espécies de peixes expostas a sedimentos suspensos apresenta relação com dificuldades na respiração. Assim, mortandade pode ocorrer em concentrações variando de 20 para 20.700 mg/L e peixes jovens se mostraram mais sensíveis que adultos.

Wood e Armitage (1997) afirmam que muitos peixes evitam águas com turbidez, temporariamente buscando refúgio ou até se deslocando para águas não impactadas. O mecanismo de evitar águas túrbidas, já foi registrado em diferentes níveis de turbidez dependendo da sensibilidade da espécie à redução da claridade da água.

Como exemplo, Richardson, Rowe e Smith (2001) mostraram que o comportamento de migração para cima do rio do peixe banded kokopu (*Galaxias fasciatus*) foi reduzido quando a turbidez excedeu 25 NTU, resultando em limitação da sobrevivência da espécie. Turbidez elevada tende a reduzir também a atividade de se alimentar, a taxa e o sucesso na detecção de comida, perturbação da visão do peixe, reduzindo, assim, a variabilidade de alimento tanto para bentos quanto para peixes (BILOTTA; BRAZIER, 2008).

Esses autores destacam que as taxas de alimentação são variadas pela turbidez em diferentes espécies. Entre 5-10 NTU, já ocorre de-

créscimo na distância em que o peixe reage para capturar ou consumir sua presa. Em sequência, ocorre declínio na abundância de macroinvertebrados e redução na quantidade de presas e suprimento de comida para peixes. Mesmo que ocorra abundância de presas em águas com turbidez, como ocorre decréscimo na capacidade visual para caça e alimentação nos peixes e, com isso, taxas de crescimento menores.

Kemp et al. (2011) afirmam que períodos extensos ou frequentes de alta turbidez podem resultar em mudanças na distribuição de peixes e na estrutura da comunidade. Isso acontece quando as espécies mais sensíveis são substituídas pelas mais tolerantes em condições de aumento de sedimentos e turbidez (RICHARDSON; JOWETT, 2002).

Na Nova Zelândia, os estudos sobre sedimentos suspensos e seus efeitos estão direcionados à alimentação, ao comportamento de evitar migração e à sobrevivência. O peixe banded kokopu tem sua sensibilidade ligada a comportamento e resposta de evitar turbidez, limitações na migração de desova no rio e redução nas taxas de alimentação quando a turbidez excede 25 NTU, tanto no laboratório quanto nos estudos em rios (RICHARDSON; ROWE; SMITH, 2001).

Rowe, Smith e Williams (2002) mencionam o peixe banded kokopu como espécie referência para águas com turbidez na Nova Zelândia, por ser sensível e bem distribuído; já os peixes longfinn, Īnanga ou redfin bullies são mais tolerantes a elevadas quantidades de sedimentos suspensos, não demonstrando respostas comportamentais para evitar turbidez ou redução em taxas de alimentação com até altos valores de turbidez (420-1100 NTU) após exposição a jatos de sedimentos em laboratório.

Rowe et al. (2009) verificaram concentrações letais de sedimentos suspensos (24h LC50: 300 mg/L). Nesse trabalho, a sobrevivência do peixe common smelt foi reduzida com valores maiores que 1000 mg/L. Em contraste, no caso do peixe banded kokopu, com concentrações de 43000 mg/L, não ocorreu letalidade. E a sobrevivência do c. smelt não foi afetada quando exposta repetidamente (4 horas a cada 2-3 dias) a valores de 800-1000 mg/L por mais de três semanas, que é uma concentração comum em eventos de inundação.

Existem trabalhos que demonstram uma mudança estrutural na comunidade aquática e, assim, a diversidade e a abundância de peixes nativos foram reduzidas com aumento nas descargas de sedimentos. Richardson e Jowett

(2002) verificaram que a abundância e a diversidade de peixes foram reduzidas de acordo com o aumento na carga de sedimentos ao longo de alguns rios. Por isso, de nove espécies que habitavam rios com pouca carga de sedimentos, remanesceram duas que estavam presentes mesmo com altos níveis de sedimentos (> 830 mg/L). Rowe, Hicks e Richardson (2000) já haviam encontrado uma redução na ocorrência de banded kokopu em 89,5% nos rios com elevada turbidez (ou seja, em que as concentrações de sedimentos suspensos excederam 120 mg/L em mais de 20% do tempo), assim como outras espécies migratórias de peixes se tornaram menos comuns.

Os sedimentos suspensos são depositados sempre em algum ponto do sistema aquático, os efeitos de sedimentos depositados em peixes estão mais ligados na degradação e perda de habitat, ocorrendo também declínio na quantidade e qualidade de áreas para desova e redução de suprimentos de alimentos.

Kemp et al. (2011) mencionam que altas ou contínuos níveis de sedimentação podem iniciar mudanças e alterações na presença de peixes e estrutura da comunidade, redução no sucesso da reprodução e aumento nas taxas de mortalidade, particularmente de ovos e larvas.

Henley et al. (2000) mencionam que, pela infiltração de sedimentos em espaços intersticiais e cobrindo o substrato, sedimentos depositados podem reduzir a complexidade de habitat para peixes. Ovos de peixes e larvas são especialmente sensíveis à deposição de sedimentos, pois causam decréscimo no suprimento de oxigênio pela redução na velocidade da água e flutuação através do substrato, causando redução na incubação de ovos, aumento de mortandade e dificuldade na eclosão dos ovos.

Suttle et al. (2004) afirmaram que sedimentos depositados podem atrasar o desenvolvimento de ovos, larvas e alterar o desenvolvimento do organismo (ex.: idade do desenvolvimento de salmonídeos). Com redução de áreas habitáveis tanto em quantidade quanto em qualidade, peixes jovens e adultos são afetados, particularmente os que têm preferência em maiores espaços intersticiais para refúgio (MCEWAN; JOY, 2013).

A disponibilidade de presas para peixes pode diminuir por efeitos adversos da sedimentação em macroinvertebrados bentônicos (SUTTLE et al., 2004). Com essa redução no suprimento de alimentos combinada à redução na eficiência em se alimentar, as taxas de crescimento podem diminuir com o passar do tempo (COLLINS et al., 2011). Segundo Jowett e

Boustead (2001), quando ocorre aumento na sedimentação, peixes podem se relocar temporariamente, causando, em curto prazo, declínio no tamanho da população, assim podendo ocorrer

mais mudanças permanentes na composição da comunidade durante o tempo. A Tabela 1 abaixo mostra os efeitos diretos em oito gêneros de peixes.

Tabela 1: Sumário dos efeitos diretos de sedimentos suspensos

Táxon	Sedimentos suspensos (mg/L)	Duração	Método	Efeitos	País
Peixe whitetail shiner	100-500 mg/L	21 d	Tanque de laboratório	Espessamento das lamelas	EUA
Truta marrom	810 mg/L	21 d	Tanque de laboratório	Espessamento das guelras	Inglaterra
Truta arco-íris	4887 mg/L	64 d	Tanque de laboratório	Afinamento das guelras	Canadá
Tilápia do peito vermelho	35000 mg/L	1-48 h	Tanque de laboratório	Filhotes com obstrução severa das guelras	África do Sul
Salmão coho	40000 mg/L	4 d	Tanque de laboratório	Danos nos filamentos das guelras	Canadá
Tilápia do peito vermelho	60000 mg/L	1-48 h	Tanque de laboratório	Adultos com severa obstrução das guelras	África do Sul
Várias espécies	104000 mg/L	1 d	Em rio	Obstrução das guelras	Bolívia
Grayling do Ártico	250000 mg/L	4 d	Tanque de laboratório	Sem danos nas guelras	Canadá
Steelhead	2500 mg/L		Tanque de laboratório	Aumento na propensão de doenças	EUA
Truta brook	10-14 NTU		Canal artificial	Redução na taxa de crescimento	EUA

Fonte: Adaptado de Cavanagh, Hogsden e Harding (2014), p. 3.

Tabela 2: Sumário dos efeitos indiretos de sedimentos suspensos

Táxon	Sedimentos suspensos (NTU)	Duração	Método	Efeitos	País
Peixe carvão	5-10 NTU	70 min	Tanque de laboratório	Redução do consumo de presas	EUA
Peixe rosyside dace	10-30 NTU	40 min	Tanque de laboratório	Diminuição da reação a distância	EUA
Yellowfin shiners	10-30 NTU	40 min	Tanque de laboratório	Diminuição da reação a distância	EUA
Truta brook	10-40 NTU	12 h	Canal artificial	Diminuição da reação a distância	EUA
Truta brook	10-40 NTU	12 h	Tanque de laboratório	Redução do sucesso de captura	EUA
Truta arco-íris	15-30 NTU	1 h	Canal artificial	Diminuição da reação a distância entre 20-55%	EUA
Peixe banded kokopu	20 NTU	2 h	Tanque de laboratório	Redução do apetite	Nova Zelândia
Redfin bully	40-640 NTU	2 h	Tanque de laboratório	Redução na taxa de alimentação	Nova Zelândia
Truta cutthroat	100 NTU	18-24 h	Tanque de laboratório	70% de redução na eficiência de alimentação na deriva dos rios	EUA
Salmão coho	100 NTU	18-24 h	Tanque de laboratório	Redução de 70% na eficiência de alimentação na deriva de rios	

Fonte: Adaptado de Cavanagh, Hogsden e Harding (2014), p. 5.

LEGISLAÇÃO SOBRE SÓLIDOS SUSPENSOS E TURBIDEZ

A legislação brasileira, desde 1976, estabelece o controle das características dos efluentes líquidos com análises químicas. Esses limites foram estabelecidos utilizando documentos de controle de efluentes norte-americanos. Segundo esses dados, 43% dos efluentes domésticos e 46% dos efluentes industriais continham poten-

cial para efeito tóxico nos mais diversos recursos hídricos (BERTOLETTI, 2013).

Segundo Clapcott et al. (2011), para elaboração de guias e legislação sobre sedimentos finos e sua deposição, o principal ponto será qual nível de sedimentação corresponde a um efeito adverso significativo nos valores de referência. Nesse trabalho, três pontos importantes foram identificados nos conselhos regionais:

1. saúde das comunidades de macroinvertebrados;
2. desova das trutas;
3. valores que mantenham a estética para recreação nas águas.

A United States Environmental Protection Agency (USEPA, 2006) reportou que 40% dos rios percorridos nos Estados Unidos tinham problemas com sedimentos. Mencionou, ainda, que a maior fonte de problemas nos corpos hídricos é causada por sólidos sedimentáveis que afetam a navegação, consumo e recreação nas águas.

Segundo a USEPA (2006), argila e silte ficam mais tempo suspensas e partículas do tamanho de grãos de areia sedimentam mais rápido na coluna de água.

Ainda em 2006, a USEPA publicou uma estrutura para estados e territórios desenvolverem critérios para sedimentos, e somente 32 dos 53 estados e territórios tinham algum tipo de critério para sedimentos suspensos – alguns utilizam turbidez, outros, sólidos suspensos totais (SST). Outro ponto necessário é encontrar um bioindicador.

Em vários países, agências governamentais criaram relatórios e guias com parâmetros e limites para sólidos suspensos e turbidez na água.

Segundo Birtwell, Farrell e Jonsson (2008), relatórios representam conhecimento de um de-

terminado local e, assim, verifica-se a viabilidade do uso da turbidez como critério de qualidade da água, para proteção de recursos hídricos. Fez-se um estudo dos efeitos da turbidez em diferentes níveis de organização biológica com intuito de prevenção de emergências e melhor entendimento dos efeitos tanto de sedimentos suspensos quanto da turbidez em fontes de água.

Com reconhecimentos do potencial de degradação dos sólidos em suspensão na biota aquática, os governos deveriam trabalhar na construção de guias de qualidade da água e padrões em que, às vezes, se mencionam como sólidos suspensos e, ocasionalmente, turbidez. Até o momento, os guias de qualidade de águas não fazem uma relação de impacto biológico e ambiental, por terem valores que não incluem variações temporais e espaciais. Assim sendo, os guias atuais não refletem as especificidades requeridas para proteção das comunidades biológicas que se propõem a fazer. Apesar de terem ocorrido substituições em algumas diretrizes europeias, sedimentos, sólidos suspensos não foram incluídos nessa diretriz (GROVE et al., 2015).

O trabalho de Cavanagh, Hogsden e Harding (2014) teve, como objetivo, desenvolver um guia para determinar as concentrações aceitáveis de sedimentos suspensos. Nesse trabalho, se aprofundou nos efeitos dos sedimentos suspensos apenas (não trabalhou com os efeitos de sedimentos com adsorção de contaminantes).

Quadro 1: Legislação sobre sólidos suspensos em alguns países

País	Limites		Referências
	Rios de planalto >150 - <1500 m de altitude	Rios de planície <150 m de altitude	
Nova Zelândia	4,1 NTU (0,6 m de claridade visual)	5,6 NTU (0,8 m de claridade visual)	ANZECC* (2000)
Austrália (sul-leste)	2-25 NTU	6-50 NTU	ANZECC (2000)
Austrália (sul-oeste)	10-20 NTU	10-20 NTU	ANZECC (2000)
Austrália (Tropical)	2-15 NTU	2-15 NTU	ANZECC (2000)
Austrália (sul-central)	1-50 NTU	1-50 NTU	ANZECC (2000)
Canadá	8 NTU ou 25 mg/L máximo de aumento acima do fundo do rio para exposições curtas até 24 horas. Máximo aumento médio de 2 NTU ou 5 mg/L para exposições longas de 24 horas até 30 dias (rios pouco turbulentos). Aumento máximo de 8NTU ou 25 mg/L acima do fundo do rio em qualquer momento em que os níveis de fundo estejam entre 8-80 NTU ou ≥ 250 mg/L		CCME* (2007)
União europeia	Não exceder 25 mg/L (exceção cheias ou secas) Para <i>salmonidae</i> e <i>ciprinidae</i>		Conselho e Parlamento Europeu Diretriz para água e peixe (2006/44/EC)
Estados Unidos	Sólidos suspensos ou sedimentáveis não podem reduzir a o ponto de profundidade de compensação para atividade de fotossíntese em mais de 10% da norma de sazonalidade estabelecida pela norma de vida aquática.		US EPA (2007)

Fonte: Cavanagh, Hogsden e Harding (2014, p.12)

*ANZECC Australian and New Zealand Environment Conservation Council

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A legislação em vários países menciona parâmetros para turbidez e sólidos suspensos. Com valores de 40 NTU, verificou-se redução em taxas de crescimento e propensão a doenças. No Brasil, a resolução do Conselho Regional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357, que classifica corpos hídricos, menciona a turbidez para águas doces classe 1 em até 40 NTU; para águas doces classes 2 e 3, até 100 NTU; e para águas salinas classes 1 e 2 e salobras classes 1 e 2, as exigências são de que a turbidez seja virtualmente ausente. A resolução nº 430, sobre efluentes, não menciona turbidez como parâmetro.

O monitoramento da qualidade das águas da Baía de Guanabara feito pelo Instituto Estadual do Ambiente (Inea, Rio de Janeiro) menciona turbidez como parâmetro a ser monitorado, mas não determina um valor.

A Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011 estabelece valor máximo de 1 uT (unidade de turbidez) para água pós-filtrada para consumo humano.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) utiliza, para turbidez, a Turbidimetria (Método 2130) da American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environmental Federation (WEF), 2005, e sólido total Gravimetria (Método 2540) APHA-AWWA-WEF, 2005.

Com os valores apresentados em outras legislações pelo mundo, verifica-se que os valores da CONAMA nº 357 estão acima para biota aquática de vários organismos.

De acordo com livros sobre tratamento de água, processos como filtração resolveriam o problema da turbidez (METCALF; EDDY, 2014).

REFERÊNCIAS

- ANZECC. *The Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality: The Guidelines*. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, Ministry for the Environment. Disponível em: <<https://www.environment.gov.au/system/files/resources/53cda9ea-7ec2-49d4-af29-d1dde09e96ef/files/nwqms-guidelines-4-vol1.pdf>>. Acesso em: 2 maio 2016.
- APHA; AWWA; WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22th ed. Washington DC: American Public Health Association, 2005.
- BERTOLETTI, E. *Controle ecotoxicológico de efluentes líquidos no estado de São Paulo*. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, 2013. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/home/wp-content/uploads/sites/11/2015/06/manual-controle-ecotoxicologico-2013.pdf>>. Acesso em: 2 maio 2016.
- BILOTTA, G. S.; BRAZIER, R. E. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research*, v. 42, issue 12, p. 2.849-2.861, June 2008, Ed. Elsevier. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/5388371>>. Acesso em: 15 fev. 2016.
- BIRTWELL, I. K.; FARRELL, M.; JONSSON, A. The Validity of Including Turbidity Criteria for Aquatic Resource Protection in Land Development Guideline (Pacific and Yukon Region). *Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2008.
- CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: A Protocol for the Derivation of Water Quality Guidelines*. Canada, 2007, p.37. Disponível em: <http://www.ccme.ca/files/Resources/supporting_scientific_documents/protocol_aql_2007e.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2015.
- CAVANAGH, J. E.; HOGSDEN, K. L.; HARDING, J. S. *Effects of Suspended Sediment on Freshwater Fish*. West Coast Regional Council, 2014. Disponível em: <<http://www.envirolink.govt.nz/PageFiles/1301/1445-WCRC129%20Effects%20of%20suspended%20sediment%20on%20freshwater%20fish.pdf>>. Acesso em: 2 abr. 2016.
- CHEN, L.; FU, X.; ZHANG, G.; ZENG, Y.; REN, Z. Influence of Temperature, pH and Turbidity on the Behavioral Responses of *Daphnia magna* and Japanese Medaka (*Oryzias latipes*) in the Biomonitor. *Procedia Environmental Sciences*, v. 13, p.80-86, Jan. 2011, Ed. Elsevier. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S1878029612000084/1-s2.0-S1878029612000084-main.pdf?_tid=aa8dc7ea-98b7-11e6-922d-00000aacb35e&acdnat=1477182708_14a931baba7ffc42534780ca685cf66b>. Acesso em: 2 dez. 2015.
- CLAPCOTT, J. E.; YOUNG, R. G.; HARDING, J. S.; MATTHAEI, C. D.; QUINN, J. M.; DEATH, R. G. *Sediment assessment methods: Protocols and guidelines for assessing the effects of deposited fine sediments on in-stream values*. New Zealand: Cawthron Institute, 2011. Disponível em: <http://www.cawthron.org.nz/media_new/publications/pdf/2014_01/SAM_FINAL_LOW.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2016.
- COLLIER, K. J. Effects of flow regulation and sediment flushing on instream habitat and benthic invertebrates in a New Zealand river influenced by a volcanic eruption. *River Research and Applications*, v.18, issue 3, p. 213-226, maio 2002. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rra.666/pdf>>. Acesso em: 2 jul. 2016.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Framework for developing suspended and bedded sediments (SABS) water quality criteria*. EPA-822-R-06-001. Washington DC: Office of Water, 2006. Disponível em: <<https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?jsessionid=2FF-17C4A21522A56A48C7AB830A8F92F.cfpub?deid=164423&CFID=79034434&CFTOKEN=79157635>>. Acesso em: 2 dez. 2015.

WENTWORTH, C. K. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *Journal of Geology*, v. 30, n. 5, p. 377-392, jul./ago.1922, The University of Chicago, EUA. Disponível em: <<http://www.journals.uchicago.edu/doi/pdfplus/10.1086/622910>>. Acesso em: 2 abr. 2016.

WOOD, P. J.; ARMITAGE, P. D. Biological Effects of Fine Sediment in Lotic Environment. *Environmental Management*, v. 21, issue 2, n. 2, p. 203-217, mar. 1997. Ed. Springer. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s002679900019>>. Acesso em: 2 mar. 2016.

WORAWUT, H.; PENRUG, P.; TERAPOL, P.; KITTIPHONG, S. Suspended Solids-Turbidity Correlation for Monitoring: Challenged Approach for Future Dredging Project in Thailand. *35th Annual Conference of the International Association for impact Assessment*, abr. 2015. Disponível em: <<http://conferences.iaia.org/2015/Final-Papers/Hamarn,%20Worawut%20-%20Suspended%20Solids-Turbidity%20Correlation%20for%20Monitoring.pdf>>. Acesso em: 2 dez. 2015.

DADOS DOS AUTORES

Bruno David Quiroz Villardi (bruno.villardi@uerj.br), gestor ambiental pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ), mestrando em Engenharia Ambiental na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

Gandhi Giordano (gandhigiordano@gmail.com), doutor em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos, professor associado da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), no Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente da Faculdade de Engenharia.

Olavo Barbosa Filho (olavobf@uol.com.br), doutor (PhD) no Imperial College of Science, Technology and Medicine, London, UK., Imperial College, Inglaterra. Ocupa o cargo de professor associado do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente (DESMA) e do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental (PEAMB) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

DINÂMICA E TEMPERATURA: UMA MODELAGEM MATEMÁTICA DE UMA BOLHA SONOLUMINESCENTE

Vanessa P. Cavalcanti

Dayse H. Pastore

Ana L. F. de Barros

RESUMO: Sonoluminescência (SL) é o fenômeno que consiste na emissão de luz através do colapso de uma bolha de gás em um líquido. Neste trabalho, apresentamos as modelagens da dinâmica de uma bolha de Argônio baseadas nos modelos de Rayleigh-Plesset, de Keller-Miksis, de Gilmore e de Herring-Trilling. A Sonoluminescência de uma única bolha (*Single-Bubble Sonoluminescence – SBSL*) é um caso especial da SL, a qual permite examinar mais detalhadamente os aspectos físicos envolvidos no sistema, uma vez que múltiplas bolhas contêm um alto grau de aleatoriedade, dificultando um estudo mais preciso. A finalidade deste trabalho consiste em apresentar os resultados modelados da variação da temperatura e do tamanho da bolha, além de propor diferentes fórmulas para o cálculo da temperatura no interior desta, podendo atingir valores semelhantes aos alcançados pela superfície do Sol.

Palavras-chaves: Sonoluminescência. Dinâmica de bolhas. Altas temperaturas. Cavitação acústica.

ABSTRACT: Sonoluminescence (SL) is the phenomenon that consists in the emission of light by the collapse of a gas bubble in a liquid. In this work, we present a modeling of the dynamics of a noble gas bubble based on models of Rayleigh-Plesset, Keller-Miksis, Gilmore and Herring-Trilling. The Single-Bubble Sonoluminescence (SBSL) is a special case of a SL, which allow to examine in more detail the physical aspects involved in the system, since multiple bubbles have a higher randomness, hiding a more accurate study. The aim of this work is to present modeled results of the variation of the temperature and size of the bubble, and propose different formulas to calculate the temperature inside the sonoluminescence bubble, which may achieve similar values to those reached by the Sun's surface.

Keywords: Sonoluminescence. Bubble dynamics. High temperature. Acoustic cavitation.

INTRODUÇÃO

A Sonoluminescência (SL) é um fenômeno fascinante que consiste na emissão de flashes de luz a partir de bolhas gasosas em colapso suspensas em um líquido (BRENNER et al., 2002). A formação destas ocorre por meio de um processo chamado de cavitação, o qual produz cavidades ou bolhas em um determinado líquido através de explosões, aquecimento ou pela ação

intensa de ondas ultrassônicas emitidas por cristais piezoelétricos localizados nas laterais do frasco (GAITAN et al., 1992). Quando a pressão ambiente em um líquido é reduzida aproximadamente ao valor da pressão de gás presente no meio, há o desenvolvimento de cavidades. Tais bolhas formadas, em sua fase inicial, expandem-se para um volume máximo, contraem-se e, em seguida, entram em colapso (GAITAN et al., 1992). Os ciclos de uma única bolha são evidenciados na Figura 1.



Figura 1 – Da esquerda para a direita: aparição de uma bolha; expansão lenta; contração rápida e súbita; colapso seguido da emissão de luz (BRENNER et al., 2002).

Assim, no estágio final do colapso, a enorme pressão do gás no interior das bolhas é capaz de irradiar luz. Inicialmente, a SL foi descoberta estudando-se as bolhas formadas pelo processo de cavitação, convencionalmente de cavitação de multibolhas ou Sonoluminescência de Múltiplas Bolhas (“Multi-Bubble Sonoluminescence”, MBSL) (LEIGHTON et al., 1995).

Em 1990, Gaitan et al. (1992), após realizarem uma série de experiências envolvendo a oscilação e o colapso de bolhas, conseguiram atingir exatas condições experimentais que eram estáveis e capazes de produzir a Sonoluminescência de uma Única Bolha (SBSL).

O fenômeno de SBSL ocorre quando uma pequena bolha de gás é suspensa em um líquido (geralmente água) e submetida a ondas ultrassônicas capazes de gerar cavitação. Uma vez criada, a bolha expande-se isotermicamente (processo lento) para cerca de dez vezes o seu raio inicial e, logo após, o colapso acontece de forma extremamente rápida, conduzindo o gás no interior da bolha a um aquecimento adiabático (PUTTERMAN, 1995; PUTTERMAN et al., 2000). A Figura 2 retrata graficamente o processo descrito acima, estando o raio da bolha representado na curva em vermelho, a sua temperatura em verde e a onda sonora em azul. Cabe ressaltar que os momentos de colapso da bolha ocorrem quando o seu raio atinge valores mínimos, e é nesse momento em que há a emissão de *flashes* de luz que são extremamente curtos e intensos o bastante para serem visíveis a olho nu.

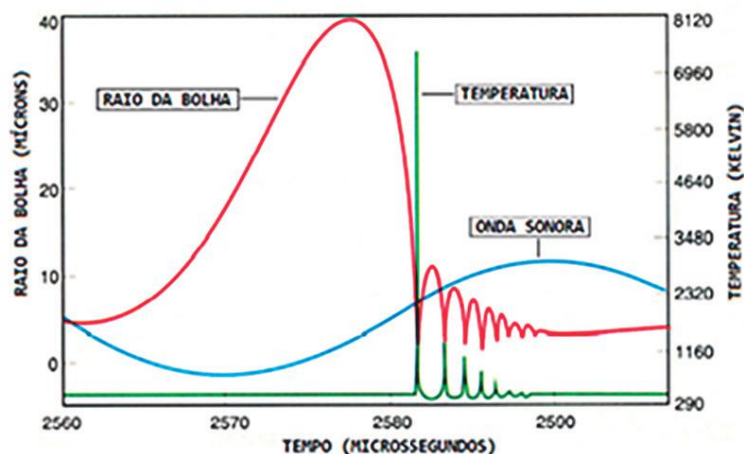


Figura 2 – Apresenta o comportamento da variação temporal do raio da bolha e da sua temperatura interna durante os processos de expansão isotérmica e compressão adiabática (CRUM, 1994).

MODELAGEM MATEMÁTICA

Neste trabalho foi realizada a modelagem matemática do movimento radial de uma bolha sonoluminescente usando os modelos de Rayleigh-Plesset, Keller-Miksis, Gilmore e Herring-Trilling (HILGENFELDT et al., 1998; VIGNOLI et al., 2013). Além disso, foram propostas diferentes equações que calculam o raio e a temperatura interna da bolha. Dessa forma, temos o objetivo de realizar uma comparação dos resultados de temperatura e raio encontrados pela literatura com os valores atingidos pelas nossas simulações.

Vale ressaltar que as equações propostas permitem a mensuração de uma grandeza que

não pode ser medida experimentalmente, sendo comumente obtida através de equações, que são resolvidas com o auxílio de algoritmos que possibilitam a otimização de cálculos e a descrição do fenômeno de forma gráfica.

MODELO DE RAYLEIGH-PLESSET (RP)

Em 1917, Lord Rayleigh realizou uma série de pesquisas sobre a cavitação buscando compreender os mecanismos do impacto sobre as hélices de navios. Entre outras realizações importantes, ele foi capaz de prever teoricamente as características básicas da dinâmica de bolhas e estabelecer a base para a maioria dos modelos atuais (GRAAF; PENESIS; BRANDNER, 2002). A equação de Rayleigh-Plesset (RP) descreve o comportamento dos fluidos de uma bolha esférica e perfeitamente simétrica considerando os parâmetros físicos, tais como a viscosidade do líquido, as propriedades do gás no interior da bolha e a tensão superficial de sua parede, além de desprezar a compressibilidade do líquido (HILGENFELDT et al., 1998; BYUN et al., 2005).

A equação de RP é obtida a partir das derivadas das equações de Navier-Stokes resultando em uma equação diferencial não linear de segunda ordem. Por conseguinte, através deste modelo, tem-se a evolução do raio da bolha no decorrer do tempo, além de envolver os parâmetros citados da seguinte forma:

$$\ddot{R}R + \frac{3}{2}\dot{R}^2 = \frac{1}{\rho} \left(P_o - P(t) - 4\eta \frac{\dot{R}}{R} - \frac{2\sigma}{R} + p_g \right) \quad (1)$$

onde os pontos indicam as derivadas temporais, $P(t)$ é a pressão de condução acústica no ponto onde a bolha está localizada, p_g representa a pressão variável de gás dentro da bolha (sendo uniforme neste modelo utilizado), P_o é a pressão do líquido medida em qualquer ponto distante da bolha e possui o valor de **1 atm**, η é a viscosidade da água, σ é a tensão superficial e ρ é a densidade da água. Para obtermos os valores do raio ao longo do tempo, é preciso calcular a pressão acústica $P(t)$ que se comporta senoidalmente e pode ser escrita como:

$$P(t) = -P_a \sin(\omega t) \quad (2)$$

Nesta equação, P_a é a pressão de condução que vale $1.42 \times 10^5 Pa$, ω é a frequência angular de ultrassom em ressonância com as oscilações naturais do frasco (VIGNOLI et al., 2013). Ademais, precisamos também de p_g e, para encontrá-la, utilizaremos a equação de Van der Waals:

$$p_g = \left(\frac{2\sigma}{R_o} + P_o \right) \left(\frac{R_o^3 - h^3}{R^3(t) - h^3} \right)^\gamma \quad (3)$$

temos que $R(t)$ é o raio da bolha, R_o é o raio inicial da bolha, h é o raio de Van der Waals e γ é a relação entre os calores específicos do gás a uma pressão constante e a volume constante (C_p/C_v). Pode-se observar que a pressão da bolha só depende dos valores do raio, sendo o restante apenas constante. Como o modelo visa simplificar o fenômeno, consideraremos o ciclo como adiabático, logo, para a compressão, γ é igual a 5/3.

A Figura 3 apresenta o resultado obtido na simulação desses parâmetros utilizando o programa matemático MATLAB (MATHWORKS, 2012) e a equação ordinária de segunda ordem (Eq. 1)

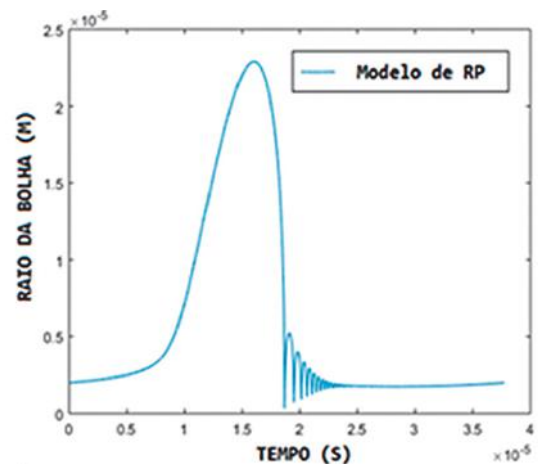


Figura 3 – Resultado obtido na modelagem do raio da bolha em função do tempo utilizando os parâmetros da Tabela 1 (MATHWORKS, 2012).

Tabela 1 – Parâmetros utilizados na modelagem numérica

Tensão superficial	$\sigma = 72.8 \times 10^{-3} N.m^{-1}$
Densidade (água)	$\rho = 1.000 Kg.m^{-3}$
Coefficiente adiabático (Argônio)	$\gamma = \frac{5}{3}$
Velocidade do som (água)	$c = 1.500 m/s$
Viscosidade (água)	$\eta = 1.002 \times 10^{-3} Pa.s$
Raio inicial	$R_o = 2 \times 10^{-6} m$
Hard core (Argônio)	$h = R_o/8.86$
Frequência de ultrassom	$f_o = 26,5 kHz$

MODELO DE KELLER-MIKSIS (KM)

O modelo Keller-Miksis reconhece a viscosidade do fluido e a equação da onda em coordenadas esféricas. O campo acústico em torno da bolha é modelado assumindo que o potencial de velocidade satisfaz a equação da onda em coordenadas esféricas com velocidade de onda constante (GRAAF, PENESIS, BRANDNER, 2012).

Assim, a dinâmica de uma única bolha de gás em um corpo esférico de material viscoelástico compressível é considerada da seguinte forma na equação de Keller-Miksis:

$$\left(1 - \frac{\dot{R}}{C_\infty}\right)R\ddot{R} + \frac{3}{2}\left(1 - \frac{1}{3}\frac{\dot{R}}{C_\infty}\right)\dot{R}^2 = \left(1 + \frac{\dot{R}}{C_\infty}\right)\frac{P_b - P_\infty - P_a\left(t + \frac{R}{C_\infty}\right)}{\rho_\infty} + \frac{R}{\rho_\infty C_\infty} \dot{P}_a \quad (4)$$

onde $R(t)$ é o raio da bolha, o ponto significa derivada temporal, C_∞ é a velocidade de som, ρ_∞ é a densidade do meio, $P_\infty = 1.42 \times 10^5 \text{ Pa}$ é a constante de pressão de um campo distante e

$P_a\left(t + \frac{R}{C_\infty}\right) \approx P_a(t) + \left(\frac{R}{C_\infty}\right)\dot{P}_a$ é a variação temporal da componente de um campo distante. Aplicando a Eq. 4, reduz-se a equação de Rayleigh-Plesset para a dinâmica de bolhas em um meio incompressível.

A equação de Keller-Miksis fornece um mecanismo para a radiação acústica, importante em oscilações de grande amplitude, porém se baseia na ideia de que o campo próximo é incompressível. O raio da bolha pode ser obtido através da Eq. 4, onde se devem determinar os valores para a pressão conforme as equações a seguir:

$$P_B = P_I - \frac{2\sigma}{R} + 3 \int_R^\infty \frac{\tau_{rr}(t)}{r} dr \quad (5)$$

$$P_{Go} = P_\infty + \frac{2\sigma}{R_o} \quad (6)$$

$$P_I = P_{Go} \left(\frac{R_o}{R}\right)^{3\gamma} \quad (7)$$

onde σ é a tensão superficial, $\tau_{rr}(r)$ é o tensor viscoso que está detalhado em Augsdorfer, Evans e Oxley (2000), P_I é a pressão interna, R_o é o raio inicial, $P_{Go} = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ é a pressão parcial inicial de um gás (ar) e γ é o coeficiente adiabático. Já a pressão de vapor pode ser incluída como uma constante e aqui será desprezada.

A Figura 4 apresenta o resultado obtido na simulação utilizando a Eq. 4 de Keller-Miksis,

no programa matemático escrito em linguagem MATLAB (MATHWORKS, 2016).

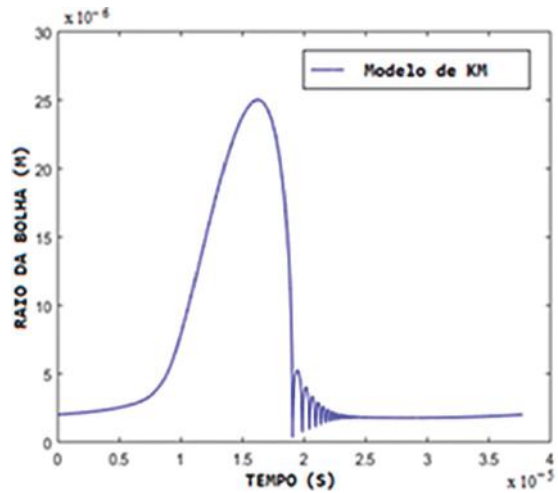


Figura 4 – Resultado obtido na modelagem temporal do raio da bolha, utilizando os parâmetros da Tabela 1 e o modelo de Keller-Miksis (MATHWORKS, 2016).

MODELO DE GILMORE

Gilmore, em seu modelo, propôs a utilização da hipótese de Kirkwood-Bethe, na qual se assume que as variações de pressão se propagam com velocidade dada pela soma da velocidade do som no líquido e a velocidade local do fluido. Consequentemente, Gilmore considera a velocidade do som constante no meio (LEIGHTON et al., 1995; VIGNOLI et al., 2013). A equação também inclui termos de compressibilidade de segunda ordem, representando a perda de energia da bolha devido às ondas de pressão de radiação. Sendo assim, a equação possui a seguinte forma:

$$\left(1 - \frac{\dot{R}}{c}\right)R\ddot{R} + \frac{3}{2}\left(1 - \frac{\dot{R}}{3c}\right)\dot{R}^2 = \left(1 + \frac{\dot{R}}{c}\right)H + \left(1 - \frac{\dot{R}}{c}\right)\frac{R}{c} \frac{dH}{dt} \quad (8)$$

$$H = n \left(\frac{P_{oo}+B}{(n-1)\rho}\right) \left[\left(\frac{P+B}{P_{oo}+B}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1\right] \quad (9)$$

$$P = P_o \left(\frac{R_o}{R}\right)^{3k} + P_v - \frac{2S}{R} - 4\mu \frac{\dot{R}}{R} \quad (10)$$

$$C = C_\infty \left[\left(\frac{P+B}{P_{oo}+B}\right)^{\frac{n-1}{2n}}\right] \quad (11)$$

$$C_\infty = \sqrt{\left(\frac{P_{oo}+B}{\rho}\right)n} \quad (12)$$

Temos que R é o raio da bolha, ρ é a densidade da água, P_v é a pressão de vapor, $P_\infty = 1 \text{ bar}$ é a pressão hidrostática, $P_o = 100 \text{ bar}$ é a pressão ambiente não condensável (CRUM, 1994), $R_o = 0,014 \text{ m}$ é o

raio inicial da bolha, k é o índice politrópico – variando entre 1 (isotérmico) e 1,4 (adiabático), S é a tensão superficial, μ é a viscosidade dinâmica, H é a diferença de entalpia entre o líquido submetido às pressões P e P_∞ , C_∞ é a velocidade do som na água a uma distância infinita da bolha, B e n são constantes usadas para calcular a velocidade local do som. Gilmore atribuiu-as sendo $B = 3.000 \text{ atm}$ e $n = 7$. Os pontos na Eq. 8 representam a diferenciação em relação ao tempo.

A Figura 5 apresenta a modelagem obtida na simulação utilizando a Eq. 8 do modelo de Gilmore, através do *software* matemático escrito em linguagem MATLAB (MATHWORKS, 2012).

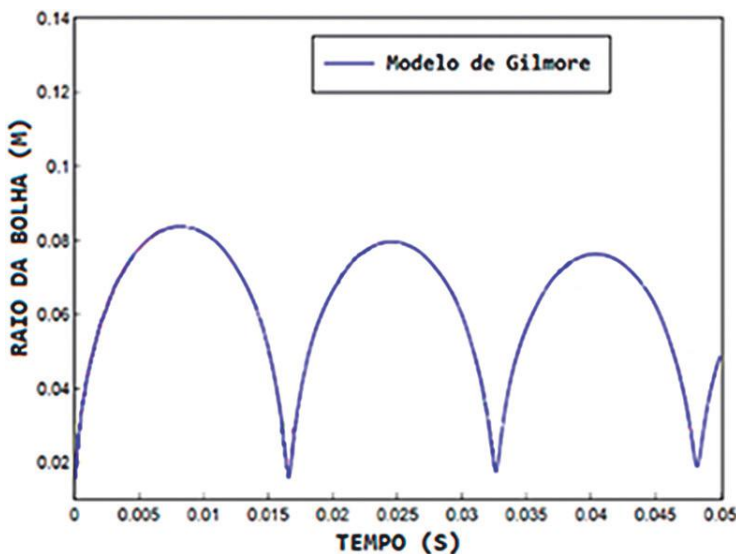


Figura 5 – Nesta modelagem, é possível visualizar a evolução do raio utilizando os parâmetros do modelo de Gilmore (GRAAF, PENESIS, BRANDNER, 2012).

MODELO DE HERRING-TRILLING

Herring buscou por avanços no sentido de considerar a compressibilidade do líquido, bem como variações da pressão no interior da cavidade, introduzindo correções de primeira ordem na compressibilidade do líquido (LEIGHTON et al., 1995).

A descrição da dinâmica da bolha através dessa abordagem requer o uso do potencial de velocidade, da equação acústica, da equação do momento para líquidos não viscosos e da fórmula modificada de Bernoulli. Trilling também obteve a mesma equação que Herring, ambos negligenciando os efeitos da tensão superficial e viscosidade do líquido (XAVIER, 2000). A equação tem a seguinte forma:

$$\left(1 - \frac{2\dot{R}}{c}\right) R\ddot{R} + \frac{3}{2}\left(1 - \frac{4\dot{R}}{3c}\right) \dot{R}^2 = \left(\frac{P_g - P_\infty}{\rho}\right) + \left(1 - \frac{\dot{R}}{c}\right) \frac{R}{c\rho} \frac{dP_g}{dt} \quad (13)$$

onde R é o raio da bolha, ρ é a densidade da água, P_g é a pressão de vapor, P_∞ é a pressão hidrostática e C é a velocidade do som.

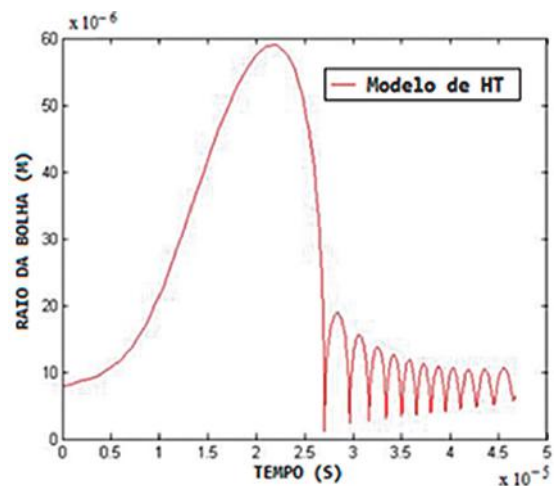


Figura 6 – Apresenta o resultado da simulação do raio da bolha utilizando a Eq. 13 do modelo de Herring-Trilling (MATHWORKS, 2012).

ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES DOS MODELOS DINÂMICOS

A partir dos resultados modelados, pode-se verificar que, nos quatro modelos, tem-se claramente as fases de expansão isotérmica até o raio máximo e a compressão adiabática do raio máximo ao raio mínimo. Nesta última etapa, há o colapso e a emissão de flashes de luz. Tal processo é repetido por diversos ciclos que representam a inércia do sistema.

Na etapa de aumento de volume, a bolha recebe energia que provém dos cristais piezoelétricos (GAITAN et al., 1992), sendo um processo lento que perdura por mais de $1,5 \mu\text{s}$, e sua temperatura ambiente, que é a mesma da água contida no recipiente, permanece constante até o raio máximo.

Comparando os gráficos de KM e RP, percebemos semelhanças devido ao fato de possuírem diversos parâmetros e variáveis em comum. No entanto, o raio máximo atingido pelo modelo de KM apresenta-se maior. Já o modelo de HT possui uma taxa de expansão alta, aproximadamente três vezes maior em comparação com os outros dois modelos citados. Esse fato pode ser explicado, uma vez que Herring e Trilling não consideraram a viscosidade em sua equação. Por fim, no modelo de Gilmore, temos um raio máximo ainda maior que os outros três modelos, sendo importante ressaltar que esse modelo também não prevê a viscosidade.

CÁLCULO DA TEMPERATURA INTERNA DA BOLHA

Para aferir a temperatura interna da bolha utilizando as três fórmulas que serão propostas, é necessário obter, primeiramente, os valores assumidos pelo raio no decorrer do tempo através do modelo hidrodinâmico desejado. Dessa maneira, será possível determinar os valores de temperatura no interior de uma única bolha.

No modelo de RP, consideramos a compressão da bolha sendo adiabática, sua temperatura inicial sendo igual à temperatura do líquido e permanecendo constante por todo o processo de expansão – característica inerente à expansão isotérmica. Assim, podemos calcular os valores de temperatura na etapa de compressão conforme a Eq. 14:

$$T_g(R) = \frac{(P_o R_o^3)^{(\gamma-1)}}{(R^3 - a^3)^{(\gamma-1)}} \quad (14)$$

onde $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ é a relação entre os calores específicos, P_o é a pressão ambiente para o movimento de expansão e a é o raio relacionado com o volume de Van der Waals. Este é determinado a partir da Eq. 15:

$$\frac{4}{3} a^3 = nb \quad (15)$$

onde n é o número de mols da bolha; para o ar consideramos $b = 0,04 \text{ mol}^{-1}$ e para o Argônio tem-se a relação $\frac{R_o}{a} = 8,5$. Sendo assim, por tratar-se de um processo lento, assumimos que, para toda a expansão, $T_g(R) = T_o$, sendo T_o a temperatura ambiente, R_o o raio ambiente e R representa os diversos valores de raio obtidos através do modelo de RP.

Pode-se constatar o resultado do cálculo da temperatura interna da bolha na Figura 7 e na Figura 8, considerando a Eq. 14.

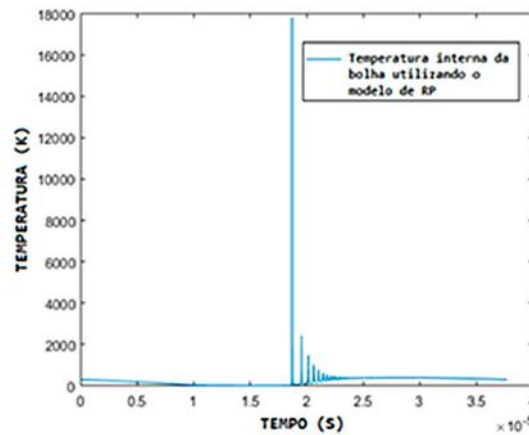


Figura 7 – Resultado obtido na simulação da temperatura interna da bolha utilizando a Eq. 14 e o modelo de Rayleigh-Plesset (RP) (MATHWORKS, 2016).

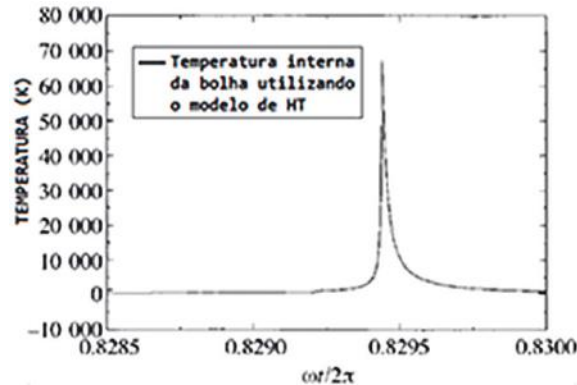


Figura 8 – Apresenta a modelagem gráfica que afer a temperatura no centro da bolha a partir da Eq. 14 e do modelo de Herring-Trilling (HT) (PROSPERETTI et al., 1999).

Em posse dos resultados atingidos no modelo de Keller-Miksis (MK), Hilgenfeldt et al. (1998) utilizaram a Eq. 12 a fim de obter a temperatura do gás (T_b), que é considerada uniforme no interior da bolha. A variação temporal da temperatura do gás é obtida a partir da equação de Van der Waals adicionando também um termo de perda de calor por difusão, que tem influência na fase das oscilações (PUTTERMAN et al., 2000).

A equação se apresenta da seguinte forma:

$$\dot{T}_b = - \left[\gamma (R, \dot{R}, T_b) - 1 \right] \frac{3R^2(t)\dot{R}(t)}{R^3(t) - h^3} T_b(t) - X_g \frac{T_b(t) - T_o}{R^2(t)} \quad (16)$$

onde $R(t)$ é o raio da bolha, T_o é a temperatura inicial no líquido, h é o raio de Van der Waals, γ é a relação entre os calores específicos do gás e é dado por:

$$X_g = \frac{k_g}{\rho_g(R(t))c_{p_g}} \quad (17)$$

sendo k_g a condutividade térmica, a densidade do gás e c_{p_g} é o calor específico sob pressão constante. O gráfico da Figura 9 apresenta os resultados encontrados por Rechiman et al. (2012), que foram comparados com os obtidos na nossa simulação representada na Fig. 7.

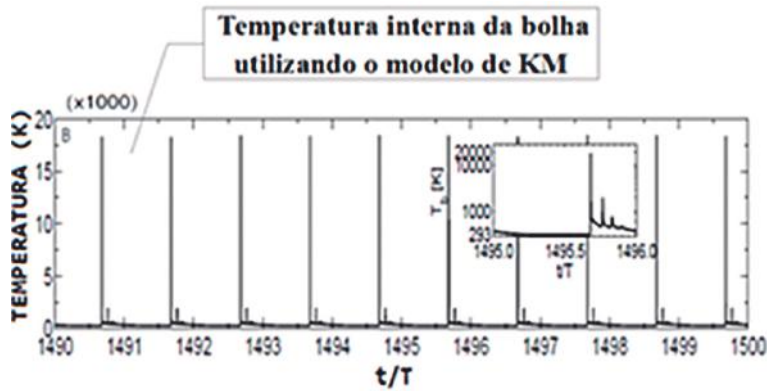


Figura 9 – Apresenta os resultados da temperatura interna de uma bolha em 10 ciclos utilizando a Eq.16 e o modelo de KM (RECHIMAN et al., 2012).

A fim de utilizar uma fórmula mais simples, Leighton et al. (1995) adotaram o modelo Gilmore para aferir os valores de raio e a Eq. 18:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{(1-\gamma)} \quad (18)$$

onde T_2 é a temperatura a ser determinada, T_1 é a temperatura inicial do líquido, γ é a relação entre os calores específicos considerando o processo de compressão sendo adiabática, V_1 é o volume que possui raio inicial da bolha e V_2 é o volume considerando os diferentes valores de raio obtidos no decorrer do tempo.

A Figura 10 representa o resultado obtido por Leighton et al. (1995), no qual há a variação de temperatura pelo número de ciclos da bolha. Nessa simulação, foi utilizado o modelo de Gilmore. Vale ressaltar que a cada período de oscilação da bolha temos um ciclo, ou seja, como o autor utiliza diversos ciclos, o valor da temperatura foi calculado de acordo com cada número de ciclo. Salientamos que, como a bolha é guiada por ondas ultrassônicas, esses ciclos representam também os ciclos da onda sonora.

A Figura 11 representa a modelagem gráfica da temperatura realizada neste trabalho, utilizando a Eq. 18 e o modelo de KM.

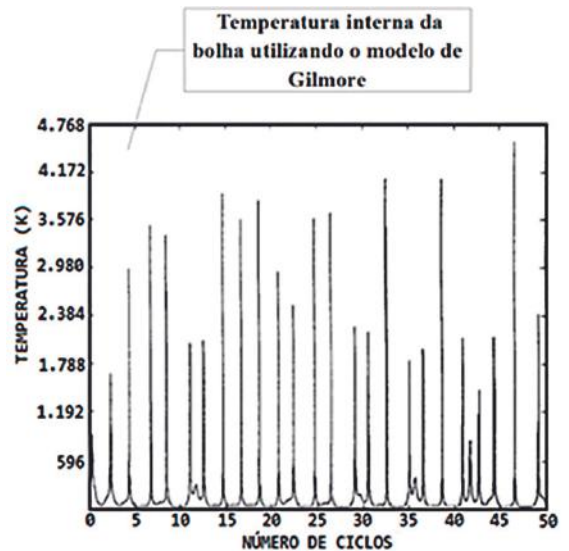


Figura 10 – Resultado obtido na modelagem da temperatura da bolha considerando a quantidade de ciclos desta. Os resultados foram obtidos utilizando a Eq. 18 e o modelo de Gilmore. (LEIGHTON et al., 1995).

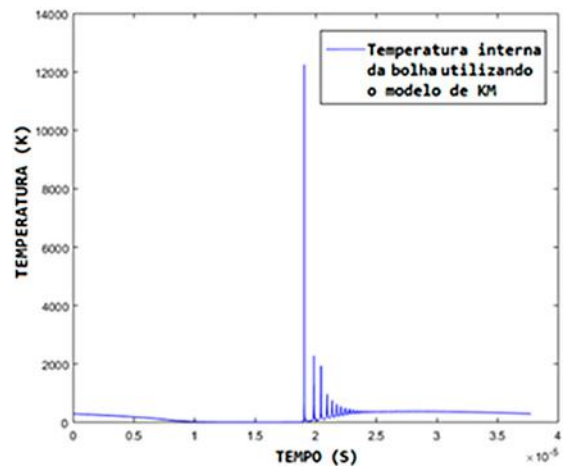


Figura 11 – Nesta modelagem gráfica da temperatura foi utilizada a Eq. 18 e o modelo de Keller-Miksis (KM) para um ciclo da bolha sonoluminescente (MATHEWORKS, 2016).

Percebe-se, nas Figuras 10 e 11, que, em curvas de temperatura, os picos ocorrem no momento em que a bolha colapsa e atinge seu menor raio (emissão de *flash* de luz). Nesse instante, há um aumento brusco em sua temperatura interna. Logo após, a bolha expande-se até o raio máximo e a sua temperatura diminui. Posteriormente, ela comprime-se rapidamente e, no colapso, tem-se novamente o aumento da temperatura. Dessa forma, os ciclos se repetem até a bolha retornar ao valor de seu raio inicial e, conseqüentemente, sua temperatura também retorna aproximadamente ao valor estabelecido inicialmente.

A partir dos resultados obtidos, pode-se dizer que a temperatura interna da bolha variou de 293 K – 70.000 K. Utilizando a Eq. 14, o modelo de RP e estabelecendo a temperatura inicial em 293 K, conseguimos alcançar uma temperatura máxima de 18.000 K nas nossas simulações, um valor cerca de três vezes maior que a temperatura da superfície do Sol, que equivale a 6.500 K (NASA, 2016).

Utilizando a Eq. 14, porém o modelo de HT, Prosperetti et al. (1999) fixaram a temperatura inicial em 293,15 K, alcançando a máxima de 70.000 K, aproximadamente quatro vezes maior que o valor obtido com o modelo de RP e onze vezes maior que a temperatura da fotosfera.

Na nossa simulação, aplicando a Eq. 16 em conjunto com o modelo de KM, e com a temperatura inicial de 293 K, atingimos a temperatura máxima de 20.000 K, valor muito próximo ao encontrado por Vignoli et al. (2013) e que se assemelha também ao resultado obtido por Hiller et al. (1992), o qual logrou o resultado de 25.000 K.

Utilizando o modelo de Gilmore e a Eq. 18, a qual envolve poucos parâmetros em relação às demais, pode-se dizer que, inicialmente, com a temperatura em torno de 298 K, o valor máximo encontrado foi, aproximadamente, 4.768 K, resultado muito abaixo em comparação com os valores atingidos anteriormente, porém próximo a 7.000 K, como obtido por Crum (1994) e a 6.000 K como obtido por Xavier (2000).

A última curva modelada, Figura 11, baseou-se no modelo de KM e na Eq. 18. Após simulações, conseguimos lograr o resultado de 12.000 K. Tal resultado é cerca de 2,5 vezes maior que a temperatura atingida pela modelagem realizada na Figura 10.

Ademais, nota-se uma particularidade na curva da Figura 10. Esta se apresenta dissonante em comparação com as demais, pois em seus 50 ciclos Leighton et al. (1995) consideraram o fluxo de massa na parede da bolha. Logo, o seu tamanho foi modelado de forma “irregular” e, como a temperatura depende dos valores de raio, sua modelagem também se apresentou conforme o gráfico do raio da bolha. A Figura 12 retrata a gráfico citado.

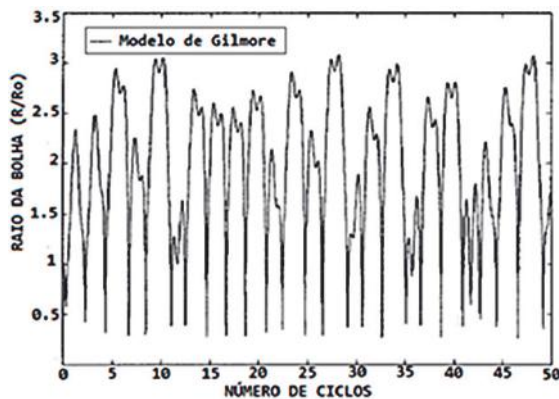


Figura 12 – Apresenta o tamanho da bolha em 50 ciclos. Os resultados foram obtidos utilizando a Eq. 8, o modelo de Gilmore e considerando o fluxo de massa na parede da bolha (LEIGHTON et al., 1995).

CONCLUSÃO

Podemos concluir que os quatro modelos referenciados neste artigo modelam a dinâmica da bolha e o seu raio no decorrer do tempo. No entanto, se for feita uma análise comparativa, nota-se que a equação de HT não contém termos que levam em consideração a viscosidade do líquido e isso pode ser um fato que contribui na dissonância do gráfico em relação aos demais, no que tange à alta taxa de expansão. Dessa forma, o uso do modelo de HT é o menos indicado. Mesmo assim, todos os modelos induzem à não linearidade do fenômeno e à iminente descontinuidade da temperatura, da pressão e da velocidade.

Por conseguinte, para modelar a temperatura do gás no seu interior, primeiramente, deve-se optar pelo modelo desejado e, a partir deste, define-se a equação da temperatura que pode envolver poucos parâmetros como a Eq. 18 e a Eq. 14, ou diversos, como a Eq. 15. E, para auxiliar na resolução das equações apresentadas, é interessante utilizar algoritmos que realizem os cálculos e gerem os gráficos automaticamente, através de programas matemáticos como o MATLAB (MATHWORKS, 2012; 2016).

Dessa forma, com base nos resultados de temperatura, podemos dizer que o valor mais baixo se aproxima e os mais elevados ultrapassam (em até 12 vezes) a temperatura da superfície do Sol. Tal fato torna o fenômeno ainda mais interessante, instigando muitos pesquisadores na busca por respostas que justifiquem as altas temperaturas encontradas, bem como as diversas questões em aberto envolvendo a SBSL.

AGRADECIMENTOS

Às agências de fomento, Capes, CNPq e FAPERJ (E-110.087/2014), pelo auxílio financeiro ao laboratório de Física Experimental e Aplicada (LaFEA) e pela bolsa de iniciação científica do Cefet/RJ concedida à aluna autora deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- AUGSDORFER, U. H.; EVANS, A. K.; OXLEY, D.P. *Thermal noise and the stability of single sonoluminescing bubbles*. *Rev. Mod. Phys.*, v. 5.278, n. 61, 2000.
- BRENNER, M. P. et al. Single Bubble Sonoluminescence. *Rev. Mod. Phys.*, v. 74, n. 2, p. 426-477, 2002.
- BYUN, K. T. et al., Sonoluminescence Characteristics from Micron and Submicron Bubbles. *J. Kor. Phys. Soc.*, v. 47, n. 6, p. 1.010-1.022, 2005.
- CRUM, L. A. Sonoluminescence. *Physics Today*, v. 47, n. 22, p. 22-29, 1994,
- GAITAN, D. F. et al. Sonoluminescence and bubble dynamics for a single, stable, cavitation bubble. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 91, n. 6, p. 3.166-3.183, 1992.
- GRAAF, K. L. de; PENESIS, I.; BRANDNER, P. A. Comparison of the Rayleigh-Plesset and Gilmore Equations and Additional Aspects for the Modelling of Seismic Airgun Bubble Dynamics. *Australasian Fluid Mechanics Conference*, 18, Launceston, 2012.
- HILGENFELDT, S. et al. Analysis of Rayleigh-Plesset dynamics for sonoluminescing bubbles. *J. Fluid Mech.*, v. 365, n.1, p. 171-204, 1998.
- LEIGHTON, T. G. et al. The Cavitation of Bubbles Containing Mon-, Di-, and Tri-Atomic Gases: Discussion Through Modelling of Dynamics Using the Gilmore Equation. *ISVR Tech. Rep.*, v. 2.568, n. 248, p. 1-24, 1995.
- MATHWORKS. MATLAB. *Software*. Massachusetts, USA, 2012; 2016.
- NASA. Layers of the sun. Disponível em: <https://www.nasa.gov/mission_pages/iris/multimedia/layerzoo.html>. Acesso em: 24 nov. 2016.
- PROSPERETTI, A. et al. Modelling of spherical gas bubble oscillations and sonoluminescence. *The Royal Society*, v. 357, n. 1.751, p. 203-223, 1999.
- PUTTERMAN, S. J. et al. Sonoluminescence: How Bubbles Turn Sound into Light. *Rev. Fluid Mech.*, v. 32, n. 1, p. 445-476, 2000.
- PUTTERMAN, S. J. Sonoluminescence: Sound into Light. *Scientific American*, v. 272, n. 2, p. 46-51, 1995.
- RECHIMAN, L. M. et al. Numerical Description of Moving Single Bubble Sonoluminescence State in Sulfuric Acid. *Mecânica Computacional*, v. 31, n. 2, p. 255-278, 2012.
- VIGNOLI, L. L. et al. Modeling the Dynamics of Single-Bubble Sonoluminescence. *Eur. J. Phys.*, v. 34, n. 3, p. 679-688, 2013.
- XAVIER, C. F. *Modelos de implosão de bolhas esféricas para sonoluminescência*. 2000. Tese (Doutorado em Física) – Instituto de Física “Gleb Wataghin”, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

DADOS DAS AUTORAS

Vanessa Pereira Cavalcanti (vanessapcavalcanti94@gmail.com), bacharelanda em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica no Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca e bolsista de iniciação científica nesta mesma instituição.

Dayse Haime Pastore (daysepastore@gmail.com), doutora em Matemática pelo Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada, professora associada do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca.

Ana Lucia Ferreira de Barros (ana.barros@cefet-rj.br), doutora em Física pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, coordenadora do Laboratório de Física Experimental e Aplicada (LaFEA) do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca.

UMA PROPOSTA DE MAPEAMENTO E MODELAGEM DE PROCESSOS COMO REQUISITOS DE NEGÓCIOS

Diego Medeiros Santos

José Luiz Fernandes

Eduardo Linhares Qualharini

Andréa Souza da Cunha Fernandes

RESUMO: O presente estudo apresenta uma proposta de aplicação do mapeamento e modelagem de processos como importante técnica de levantamento de requisitos de negócio. Para tal, mostra-se a contribuição de uma prática de análise e levantamento de informações para a elaboração detalhada do plano de escopo de um projeto de automação do processo de requisição e movimentação de pessoal, realizado em uma companhia seguradora da região metropolitana do Rio de Janeiro. A pesquisa objetivou demonstrar como a aplicabilidade do mapeamento e modelagem de processos contribui para a concepção do escopo de projetos.

Palavras-chave: Mapeamento e modelagem de processos. Requisitos de negócio. Escopo.

ABSTRACT: This study presents an application of the process mapping as an important technique to identify business requirements. The purpose shows the contribution of the analysis and requirement information to do project scope planning of automate a people management process at an insurance company of Rio de Janeiro State. The search aimed to show the applicability of process mapping to achieve a project scope planning.

Keywords: Process mapping. Business requirements. Scope.

INTRODUÇÃO

As organizações estão inseridas em mercados cada vez mais competitivos e dinâmicos. Independente do porte ou segmento da organização, garantir sua sobrevivência é fundamental. Com o avanço da tecnologia e a facilidade de comunicação, os clientes estão cada vez mais exigentes, tornando a competitividade cada vez mais acirrada. Para garantir o primeiro lugar na preferência dos mercados, as organizações precisam cada vez mais traçar suas estratégias de forma a não só atingir as expectativas dos clientes, mas sim superá-las. Diante deste cenário tão competitivo, o Gerenciamento de Projetos, aliado ao Gerenciamento de Processos de Negócios, aparecem como importantes práticas a serem adotadas pelas organizações como meio de oferecer melhores produtos e serviços, agregar valor para seus clientes e adquirir importante vantagem competitiva. O Quadro 1 apresenta as principais definições das duas práticas de gestão.

Quadro 1 – Conceitos do Gerenciamento de Projetos e Gerenciamento de Processos de Negócios

Gerenciamento de Projetos		Gerenciamento de Processos de Negócio	
Autor	Definição	Autor	Definição
Kerzner (2007)	Pode ser definida como o planejamento, a programação e o controle de uma série de tarefas integradas de forma a atingir seus objetivos com êxito, para benefício dos participantes do projeto.	Hammer (2001)	Constitui um sistema integrado de gestão de desempenho de negócios voltado para a gestão de processos de negócio ponta a ponta, totalmente centrado para o cliente.
PMBOK (2013)	É a aplicação do conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto para atender aos seus requisitos.	ABPMP (2013)	Constitui um conjunto de capacidades de negócio que abrange desenhar, implementar, monitorar, controlar e melhorar continuamente os processos de negócio e tem por objetivo desenvolver os processos de negócio de forma a alcançar os resultados pretendidos em alinhamento com as metas estratégicas da organização.

Fonte: Os autores, 2015.

O objetivo do estudo é propor a aplicação do mapeamento e modelagem de processos como técnica de levantamento de requisitos de negócios para um projeto de automação do processo de aquisição e movimentação de recursos humanos de uma companhia seguradora.

REVISÃO DA LITERATURA

Gerenciamento do escopo do projeto Segundo Xavier (2009), o gerenciamento do

escopo do projeto abrange cinco processos de gerenciamento: coleta de requisitos, definição do escopo, elaboração da Estrutura Analítica de Projetos (EAP), verificação e controle do escopo. A implementação desses processos garante que seja realizado somente o trabalho necessário para se concluir o projeto com sucesso. O foco principal é definir e controlar o que está ou não incluso no projeto.

De acordo com o PMBOK (2013), o termo escopo do produto contém as características e funções que caracterizam um produto, serviço ou resultado. Já o termo escopo do projeto, contém a definição do trabalho que deve ser realizado para entregar o produto final do projeto, conforme especificado. Existem várias técnicas para identificação de requisitos de negócios para a definição do escopo, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Ferramentas e técnicas para coleta de requisitos de negócios



Fonte: Adaptado Guia PMBOK, 2013.

Segundo Xavier (2009) e Keeling e Branco (2014), os requisitos de negócio são condições ou capacidades que devem ser supridas pelo produto, serviço ou resultado do projeto, para satisfazer um contrato, um padrão, uma especificação ou outro documento formal. Esses requisitos precisam ser definidos e reportados detalhadamente de forma a serem medidos e controlados durante a execução do projeto.

A presente pesquisa propõe a aplicação do mapeamento e modelagem de processos como mais uma técnica para o levantamento de requisitos de negócio, de forma consistente, assertiva e estruturada. O mapeamento e modelagem de processos é uma capacidade de análise que vai muito além da representação em forma de fluxograma. Sua aplicabilidade está justamente em avaliar como a situação atual exige e gera necessidades de negócio, de forma a viabilizar a avaliação dos impactos dos requisitos, esgotando todas as possibilidades e alternati-

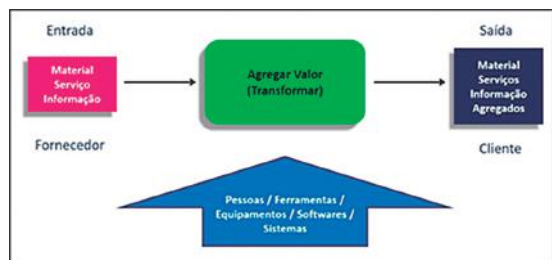
vas de soluções, gerando uma carga enorme de informações para a definição do escopo do produto do projeto.

Para melhor entender o conceito do mapeamento e modelagem de processos, é importante abordar o seu contexto no Gerenciamento de Processos de Negócios.

Gerenciamento de Processos de Negócios – Business Process Management – BPM

Para se chegar ao conceito de Gerenciamento de Processos de Negócios, é importante iniciar pela abordagem sobre o que é um processo e no que consiste um processo de negócio (Figura 2).

Figura 2 – O processo



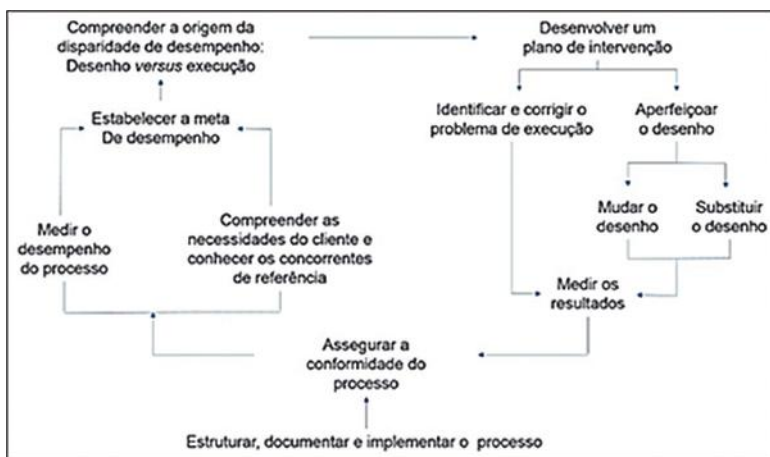
Fonte: Os autores, 2015.

Para Capote (2011), o processo consiste em um conjunto de atividades inter-relacionadas na realização de um trabalho, visando atender necessidades específicas.

Segundo o ABPMP (2013), processo é uma agregação de atividades e comportamentos executados por humanos ou máquinas para alcançar um ou mais resultados. Processos são compostos por atividades que interrelacionam e solucionam uma questão específica. Tais atividades são orientadas por regras de negócio e vistas no contexto de sua relação com as demais atividades de forma a oferecer uma visão lógica de sequenciamento de fluxo. Estes são denominados processos de negócios.

Segundo Hammer (apud Rosemann; Brocke, 2013), processo de negócio consiste num trabalho de ponta a ponta que atravessa uma empresa para criar valor para o cliente, é embasado em um sistema integrado de gestão de desempenho de negócios voltado para a sua gestão. A Figura 3 apresenta o ciclo de gerenciamento de processos proposto por Hammer.

Figura 3 – Tipos de Processos de Negócios

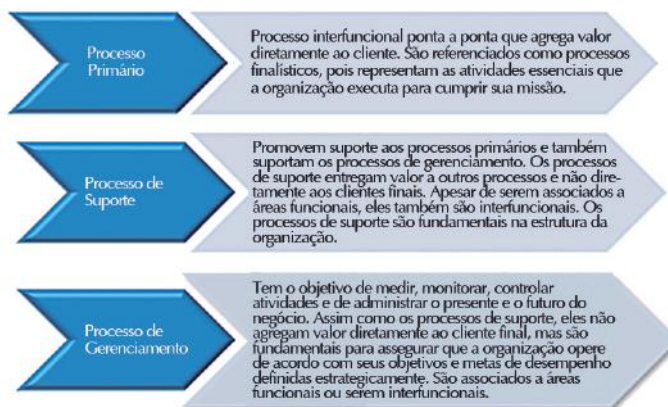


Fonte: Hammer, 2001.

De acordo com Hammer (2001), o gerenciamento de processos de negócios proporciona, em uma organização, a garantia de que seus processos cumpram o prometido e funcionem de forma coerente com o nível de desempenho que são capazes de oferecer. Ele determina quando um processo não está mais atendendo às necessidades dos clientes e permite a criação de processos de alto desempenho, que funcionam com custos baixos, maior velocidade, melhor uso de ativos e maior flexibilidade.

Segundo ABPMP (2013), o gerenciamento de processos de negócios é uma abordagem disciplinar para identificar, desenhar, executar, documentar, medir, monitorar, controlar e melhorar processos de negócio, automatizados ou não, para alcançar resultados consistentes e alinhados com os objetivos estratégicos da organização. Os processos de negócios são caracterizados por três tipos bem definidos, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Tipos de Processos de Negócios



Fonte: Adaptado ABPMP, 2013.

A visão orientada de processos não deve ser considerada apenas para o ambiente interno da organização, é preciso considerar também o ambiente externo, entre eles os fornecedores e os clientes intermediários, pois estes impactam diretamente a organização como um todo. Este conceito está direcionado à ideia de valor agregado ao negócio, por meio da cadeia de valor.

Segundo Porter (1989), cadeia de valor consiste no conjunto de atividades inter-relacionadas que adicionam valor ao produto ao longo de sua criação, onde as atividades uma vez encadeadas adicionam mais valor ao produto que a soma do valor total de cada atividade realizada individualmente. Dessa forma, atores externos podem influenciar diretamente no desempenho de uma organização, como por exemplo, os fornecedores. O modelo de Cadeia de Valor de Michael Porter representa o conjunto de atividades desempenhadas por uma organização desde as relações com os fornecedores, ciclos de produção e de venda até a fase da distribuição final. Na Figura 5, é possível entender as relações e interações dos níveis da organização.

Figura 5 – Cadeia de valores genérica



Fonte: Porter, 1989.

Mapeamento e Modelagem de Processos

Segundo Capote (2011), o mapeamento de processos ou levantamento de informações consiste no trabalho de se obterem as informações do processo, seus recursos e suas regras de negócio. As informações do processo são obtidas por meio de entrevistas e reuniões de levantamento, com os principais envolvidos e responsáveis pelo processo. A modelagem de processos de negócio refere-se ao conjunto de atividades necessárias para a criação de representações de processos existentes ou que ainda estão em planejamento ou sendo projetados. As regras de negócio são compostas por condições para a realização de determinadas ações

e atividades do processo na realização do negócio. As informações sobre regras de negócio estão, muitas vezes, diluídas entre formulários, sistemas, bancos de dados, procedimentos corporativos e/ou funcionais e no próprio trabalho humano. As regras de negócio são identificadas no mapeamento do processo de negócio. As informações levantadas durante o mapeamento do processo podem ser estruturadas de diversas maneiras. Uma delas é a estruturação por meio da elaboração de um fluxo, também conhecido como modelo. Um modelo deve atender a características básicas que definem um padrão a ser seguido na elaboração dos fluxos, chamado de modelagem de processos de negócio.

De acordo com ABPMP (2013), a modelagem de processos de negócio tem como propósito criar uma representação do processo de maneira completa e precisa sobre seu funcionamento. Possui um nível de detalhamento e modelo específico. Um modelo é a representação simplificada de um conceito ou atividade. Tais modelos podem ser matemáticos, gráficos, físicos, narrativos ou uma combinação de todos esses tipos. Esses modelos possuem uma ampla aplicação em vários ambientes de negócio, entre eles a estruturação, a aprendizagem, estimativas, quantificação de dados, validações e objetivos. O modelo de processos ilustra informações referentes a elementos do processo, relacionamento entre áreas, evidenciando responsáveis e atividades executadas. A notação científica é um conjunto padronizado de símbolos e regras que determinam o significado desses símbolos. No Quadro 2, são listados os tipos de notação mais utilizados pelo mercado e suas respectivas definições.

Quadro 2 – Notações de modelagem de processos

Notação	Descrição
Fluxograma	Originalmente aprovado como padrão ANSI (American National Standards Institute), inclui um conjunto simples e limitado de símbolos não padronizados; facilita o entendimento rápido do fluxo de um processo.
EPC (Event-driven Process Chain)	Desenvolvido como parte da estrutura de trabalho ARIS (programa para modelagem de processos), considera eventos como "gatilhos para" ou "resultados de" uma etapa do processo; útil para modelar conjuntos complexos de processos.
UML (Unified Modeling Language)	Mantido pelo Object Management Group, consiste em um conjunto padrão de notações técnicas de diagramação orientado à descrição de requisitos de sistemas de informação.
BPMN (Business Process Model and Notation)	Padrão criado pelo Object Management Group, útil para apresentar um modelo para públicos -alvo diferentes.

Fonte: Adaptado ABPMP, 2013.

Independente da notação escolhida, o trabalho de mapeamento e modelagem de processos deve ser embasado em duas abordagens: Análise de Processos e Desenho de Processos.

Segundo Capote (2011), a análise de processos se concentra na situação do momento atual do processo, também conhecido como análise do processo “AS IS” (Processo Atual). É por meio da análise do processo atual que é possível entender sobre como os processos da organização são realizados. A análise retrata fielmente o que está acontecendo no negócio, os fatores resultantes dos processos da organização. O desenho de processos visa à realização do novo ou da melhoria do processo “AS IS”, orientado para o futuro, também conhecido como processo “TO BE” (Processo Futuro). A melhoria dos processos só deveria ser realizada após uma análise dos processos “AS IS” de forma a proporcionar uma identificação de inúmeras oportunidades de melhoria no processo, gerando insumos para o desenho “TO BE”. O desenho do processo futuro (“TO BE”) é de suma importância para a garantia do uso das informações coletadas durante a fase da análise (“AS IS”), de forma a idealizá-lo visando sempre a que ele produza os efeitos desejados, de forma planejada, alcançando uma melhoria da capacidade competitiva dos processos da organização.

METODOLOGIA

Segundo Lakatos (2008), método é o conjunto de atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, viabilizam o alcance do objetivo de se adquirir conhecimentos válidos e verdadeiros, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando tomadas de decisões. Considerando esse conceito, o trabalho se baseia na utilização do método de análise qualitativa da aplicação do mapeamento e modelagem de processos como técnica de coleta de requisitos de negócio para a composição do plano de escopo de um projeto em uma companhia seguradora.

PROPOSTA DE TRABALHO

Em função do aquecimento do mercado segurador e do crescimento expressivo da companhia, houve um aumento natural na demanda por contratações de profissionais de diferentes áreas, formações e competências técnicas. Esse movimento exigiu

da área de gestão de pessoas um aumento expressivo na execução dos processos de admissões, promoções e realocações de funcionários. Todos esses processos compõem o processo de requisição e movimentação de pessoal.

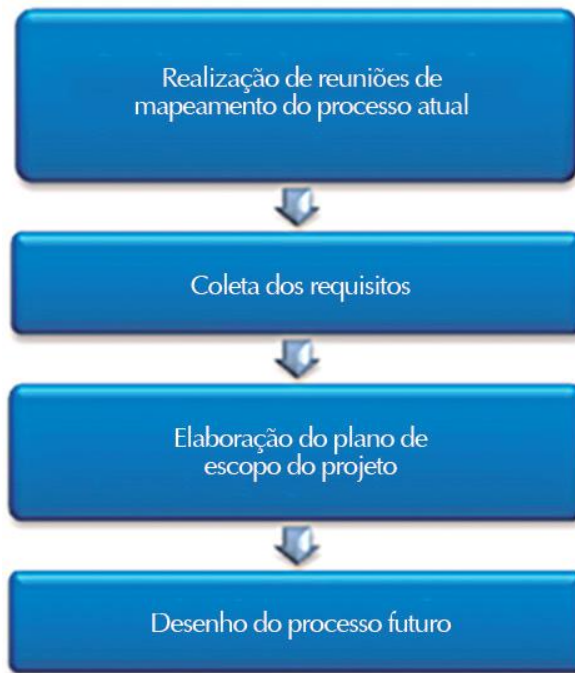
Diante desse cenário, a área de Gestão de Pessoas identificou a necessidade de transferir o processo de requisição e movimentação de pessoal, que é feito de forma manual, para o sistema corporativo de gestão de RH, que atualmente é utilizado pela área de gestão de pessoas para desempenhar outros processos como: folha de pagamento, avaliações de desempenho, cálculo de bônus de participações nos lucros, entre outros (NOKES, 2012).

A área de gestão de pessoas fez uma solicitação de negócio junto ao escritório de projetos, com a necessidade de transformar os atuais processos de requisição e movimentação de pessoal em um workflow de aprovações via sistema corporativo de gestão de RH. O escritório de projetos recebeu a solicitação e avaliou atentamente a necessidade macro desse projeto. Classificou essa solicitação e designou um gerente de projetos responsável por essa demanda. O trabalho também contou com a colaboração do escritório de processos existente na companhia, área responsável por mapear e modelar o processo atual (“AS IS”) e futuro (“TO BE”) de requisição de pessoal, gerando inúmeros dados e informações utilizadas para a definição do escopo do projeto em questão.

PROPOSTA DE MAPEAMENTO DO PROCESSO DE RH

Para desenvolver uma solução, foi identificada a necessidade de se conhecerem detalhes de como é o processo atual de requisição e movimentação de pessoal, além de identificar de uma forma muito bem detalhada os requisitos e regras de negócio para a concepção do escopo do projeto. Para a concepção do escopo do projeto com base na necessidade, foram definidas as seguintes etapas de trabalho, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Etapas do planejamento do trabalho



Fonte: Os autores, 2015.

Definidos esses quatro passos, foi realizado um planejamento de reuniões de mapeamento envolvendo um representante responsável de cada área envolvida no processo.

Reuniões de Mapeamento do Processo

Identificada a dimensão do processo de requisição e movimentação de pessoal, foi estabelecida uma sequência de reuniões de mapeamento e modelagem para cada etapa do processo com sua respectiva área responsável. A técnica usada para o mapeamento e modelagem do processo atual ("AS IS") foi a entrevista com todos os envolvidos no processo por meio de reuniões. Finalizada a reunião de entrevista, foi elaborado o modelo com base em todas as informações levantadas e, em seguida, realizada a segunda reunião com os mesmos participantes para a validação do modelo. Dependendo da complexidade das etapas do processo, duas reuniões não são suficientes. Durante reunião de levantamento de informações, os envolvidos no processo devem responder às seguintes questões, baseadas na ferramenta 5W2H, conforme ilustração na Figura 7.

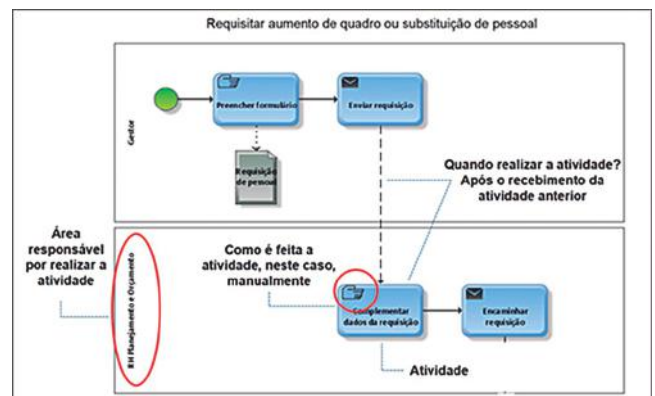
Figura 7 – Técnica de identificação de informações

Atividade	• Ação realizada
Responsável	• Área responsável por executar a atividade
Por que	• O objetivo da atividade
Quando	• Condição de momento para a execução da atividade
Como	• Maneira e/ou insumos necessários para execução da atividade

Fonte: Os autores, 2015.

Ao questionar os envolvidos com base nessa ferramenta, é possível identificar uma dimensão muito clara das atividades em sua sequência lógica. O próximo passo é elaborar o modelo para apresentar na reunião seguinte e dar a dimensão a todos os envolvidos, mostrar o papel de cada um no contexto geral do processo, já que, na grande maioria dos casos, não existe por parte dos envolvidos, a visão integrada de suas atividades realizadas. De posse dos modelos, é possível identificar em cada atividade do processo, os pontos críticos existentes, bem como vulnerabilidades, oportunidades de melhorias e necessidades de negócios. A Figura 8 mostra como deve ser feita a leitura de um modelo.

Figura 8 – Leitura do modelo



Fonte: Os Autores, 2015.

Levantamento de Requisitos de Negócio

Finalizado o mapeamento e modelagem de todo o processo atual (“AS IS”) de requisição e movimentação de pessoal, o modelo validado serve como importante instrumento para a identificação das necessidades do projeto. Ao ler atentamente os processos “AS IS” com os seus respectivos responsáveis, é possível identificar inúmeras oportunidades de melhorias, já que a análise não é feita de forma isolada. Desse modo, é possível ter a noção de todo o contexto e os impactos das modificações no processo em sua totalidade.

A coleta de requisitos ocorre por meio de entrevistas com os envolvidos no processo e o modelo do processo deve ser utilizado como base para a coleta. A leitura do modelo deve ser realizada lentamente, analisando cada atividade no detalhe de forma a identificar ao máximo as oportunidades de melhorias. Neste trabalho, todos os envolvidos e responsáveis estavam presentes na mesma reunião, participaram da leitura do fluxo e contribuíram com as suposições, oportunidades e necessidades de melhoria, mitigando consideravelmente os riscos da criação de novos requisitos a serem considerados no plano de escopo ao longo do projeto. Dessa forma, foi possível diminuir consideravelmente as solicitações de mudanças de escopo oriundas de expectativas e necessidades não identificadas durante a coleta de requisitos, na fase de planejamento do projeto.

A contribuição do mapeamento e modelagem de processos para a gestão de mudanças do projeto se dá exatamente pelo fato de diminuir as possibilidades de solicitação de mudanças referente às expectativas dos envolvidos. Uma vez que todos os requisitos foram levantados, esgotando a possibilidade de novas solicitações por parte dos interessados no projeto, as chances de mudanças são mínimas. De qualquer maneira, para o apoio do gerenciamento do projeto em si, o mapeamento também contribui na comunicação do projeto, já que é possível desenhar um fluxo de gerenciamento da mudança e ser apresentado a todo o grupo de trabalho demonstrando como deve ser feita a tratativa diante de uma solicitação de mudança.

Descrição da proposta

Com base no trabalho apresentado, é possível afirmar que o mapeamento e a modelagem de processos contribuem para a coleta de requisitos de projetos.

O trabalho de mapeamento e modelagem de processos é um pilar do Gerenciamento de Processos de Negócios, que consiste em uma prática que compõe uma iniciativa macro, com objetivos claramente definidos e que agrega valor à gestão da companhia, desde que implementada com apoio da alta administração até a base operacional (“top-down”).

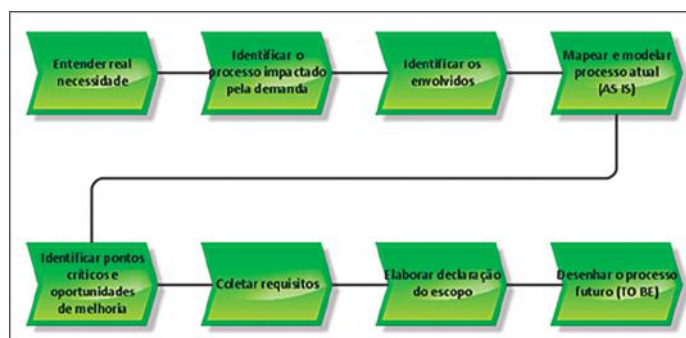
Grande parte das solicitações de projetos são oriundas das oportunidades de melhorias dos processos da organização. Geralmente são etapas do processo que estão vulneráveis e necessitando de uma melhoria, seja sistêmica, operacional ou comportamental.

Com base na pesquisa realizada com o estudo de caso, fica claro como a técnica de mapeamento e modelagem de processos alinhada a uma competente gestão de projetos pode adquirir extrema vantagem competitiva.

A proposta do trabalho foi a utilização da ferramenta de mapeamento e modelagem sempre diante da identificação da necessidade de se realizar um projeto na organização. O mapeamento e a modelagem viabiliza sempre a visão holística e integrada dos processos de negócio da organização.

Considerando todos os benefícios da técnica abordada neste estudo, o presente trabalho apresenta a estratégia para a implementação da proposta de utilizar o mapeamento e modelagem de processos como importante prática para a coleta de requisitos de negócios. A proposta para coleta de requisitos de negócios se baseia em 8 passos ilustrados na Figura 9.

Figura 9 – Proposta de técnica para coleta de requisitos de negócios



Fonte: Os autores, 2015.

Para implementar a estratégia de coleta de requisitos é fundamental: entender a solicitação do projeto; qual a real necessidade do solicitante; e o que motivou a fazer a solicitação. Em seguida, é necessário ter a percepção de que essa solicitação é o resultado de uma ineficiência ou oportunidade de melhoria de determinado processo da organização. A identificação de todas as áreas envolvidas nesse processo é também uma etapa crucial, pois as soluções propostas irão impactá-los direta ou indiretamente. Ao não considerar todos os envolvidos, as chances de ocorrer solicitações de mudanças de escopo aumentam consideravelmente. Após a identificação de todos os envolvidos, é necessário dimensionar o tamanho dessa interação, considerando a necessidade do projeto e os setores impactados. Isso só é possível ao mapear e modelar o processo atual (“AS IS”). De posse do “AS IS”, é hora de analisar cada atividade de forma a identificar seus pontos críticos e oportunidades de melhorias. Os requisitos de negócio surgem exatamente nessa etapa, devendo ser estruturados e documentados para contribuir na declaração do escopo do projeto. Por fim, até a fase de encerramento do projeto, o desenho do processo futuro (“TO BE”) deve ser realizado, pois este representa como o processo se apresentará após a implementação do projeto, contribuindo diretamente para a gestão do conhecimento da organização. Dependendo da natureza de cada projeto, o modelo futuro (“TO BE”) deve ser utilizado inclusive como material base para a concepção de treinamentos, comunicações, desenvolvimentos e soluções sistêmicas.

Concluído os modelos (“AS IS”) e (“TO BE”), os mesmos são anexados como documentação do projeto. Tais documentos devem estar disponíveis para consulta a qualquer momento durante e após conclusão do projeto. À medida que novas demandas por projetos são classifica-

das e iniciadas, é de suma importância realizar uma avaliação dos impactos que determinados projetos podem causar na sua entrega. Esta análise é perfeitamente possível se os processos da organização estiverem mapeados e modelados. Diante da ausência do mapeamento, para se garantir um maior desempenho principalmente na etapa da definição do escopo do projeto, o mapeamento e a modelagem do processo atual (“AS IS”) e do processo futuro (“TO BE”) se faz necessário. Após a conclusão do projeto, os modelos devem ficar à disposição para consulta, assim como os demais documentos do projeto, de forma a contribuir não só para a concepção do escopo, mas também para a gestão do conhecimento do projeto e organização.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Duas importantes práticas de gestão foram apresentadas neste trabalho, o Gerenciamento de Projetos e o Gerenciamento de Processos de Negócios. As duas práticas se complementam e, ao serem implementadas em uma organização, independente da sua estrutura, porte ou segmento, geram aumento de vantagem competitiva. O gerenciamento de processos gera melhorias significativas em uma organização, porém, a sua implementação só é viável se houver um projeto muito bem planejado e gerenciado para conduzir sua implementação.

O benefício do mapeamento de processos é a geração e o registro do grande volume de informações necessárias para a concepção do escopo de projetos. Esta prática faz o levantamento de todas as necessidades dos envolvidos no projeto para que estas sejam identificadas, esgotando ao máximo a possibilidade de surgimento de novas necessidades durante a execução do projeto, reduzindo as possíveis solicitações de mudanças de escopo, interferências no prazo, custo e evitando retrabalhos ao longo da execução do projeto.

REFERÊNCIAS

- ABPMP. Association of Business Process Management Professionals Brasil. Corpo Comum de Conhecimento ABPMP (BPM CBOK). v. 3, 1. ed. Brasil: ABPMP, 2013.
- CAPOTE, Gart. Guia para formação de analistas de processos – BPM. v. 1. Rio de Janeiro: Gart Capote, 2011.
- HAMMER, Michael. The Agenda: what every business must do to dominate the decade. New York: Crown Business, 2001.
- KEELING, Ralph; BRANCO, Renato Henrique Ferreira. Gestão de Projetos: uma abordagem global. 3. ed. Porto Alegre: Saraiva, 2014.
- KERZNER, Harold R. Gestão de Projetos: as melhores práticas. 2. ed.. Porto Alegre: Bookman, 2007.
- LAKATOS, M. Eva. Metodologia científica. São Paulo: Atlas, 2008.
- NOKES, Sebastian. O guia definitivo do Gerenciamento de Projetos: como alcançar resultados dentro do prazo e do orçamento. Porto Alegre: Editora Bookman, 2012.

PORTER, Michael. Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior. Rio de Janeiro: Elsevier, 1989.

PROJECT MANAGER INSTITUTE – PMI. Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (Guia PMBOK). São Paulo: Saraiva, 2013.

ROSEMANN, Michael; BROCKE, Jan Vom. Manual de BPM, Gestão de Processos de Negócio. Porto Alegre: Bookman, 2013.

XAVIER, Carlos Magno. Gerenciamento de Projetos: como definir e controlar o escopo do projeto. São Paulo: Editora Saraiva, 2009.

DADOS DOS AUTORES

Diego Medeiros Santos (adm.dmediros@gmail.com), pós-graduado em Gestão e Gerenciamento de Projetos (NPPG-Politécnica/UFRJ), analista de processos sênior na ICATU Seguros.

José Luiz Fernandes (jluizfernandes@gmail.com), pós-doutor em Engenharia (UFRJ), professor do curso de Engenharia de Produção do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ).

Eduardo Linhares Qualharini (qualharini@poli.ufrj.br), pós-doutor em Engenharia (UFF), professor do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro e Coordenador do Núcleo de Pesquisas em Planejamento de Gestão (NPPG/UFRJ).

Andréa Sousa da Cunha Fernandes (andreascunha@gmail.com), mestre em Ciências (UFRJ), professora do curso de Engenharia Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ).



