



Avaliação do desempenho cognitivo de usuários sob ruído de tráfego e de conversa em diferentes condições acústicas

Alves, L. R.¹; Araújo, B. C. D.²

^{1,2} Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil, luciana_ralves@hotmail.com, dantasbianca@gmail.com

Resumo

As funções desempenhadas pelas pessoas podem ser impactadas diretamente pela arquitetura e, consequentemente, pela acústica do ambiente. Alguns locais, como salas de aula, exigem um grau de atenção e concentração maior que outros, devendo ser um lugar com acústica apropriada para as funções ali exercidas. Embora muitos estudos abordem as condições ideais de acústica para salas de aula, questões culturais e costumes da população podem fazer com que as pessoas se adaptem a condições adversas e consigam desempenhar suas funções mesmo em locais com acústica não apropriada. O objetivo deste trabalho é avaliar se o ruído residual de tráfego e de conversa influenciam o desempenho cognitivo de usuários de salas de aula através de testes em realidade virtual. Foram gravados e auralizados áudios em diferentes condições de isolamento e condicionamento acústicos combinados e então realizados experimentos em duas rodadas diferentes com o mesmo grupo de pessoas sob essas diferentes condições acústicas, sendo cada uma delas com um tipo de ruído residual diferente. Os resultados encontrados mostram que as pessoas desempenharam melhor sob ruído de conversa, o segundo teste aplicado. Porém, quando a conversa é em nível sonoro mais elevado e com maior inteligibilidade, as pessoas são mais influenciadas pelo ruído residual em seus resultados no teste. Os participantes mostraram uma tendência de desempenho semelhante nos resultados entre condições acústicas, independentemente do tipo de ruído, indicando que a condição acústica do ambiente interfere mais no desempenho cognitivo do que o tipo de ruído residual.

Palavras-chave: acústica subjetiva, teste de percepção sonora do usuário, realidade virtual acústica.

Evaluation of cognitive performance of users under traffic and conversation noise in different acoustic conditions

Abstract

The functions performed by people can be directly affected by the architecture and, consequently, by the acoustics of the room. Some places, such as classrooms, require a higher level of attention and concentration than others, and should be a space with appropriate acoustics for the functions performed there. Although many studies address the ideal acoustic conditions for classrooms, cultural issues and habits of the population may cause people to adapt to adverse conditions and be able to perform their functions even in places with inappropriate acoustics. The aim of this paper is to evaluate whether traffic and conversation as residual noise influence the cognitive performance of classroom users through a test using virtual reality. Audios were recorded and auralized under different combined acoustic insulation and conditioning conditions and then experiments were performed in two different rounds with the same group of people under these different acoustic conditions, each one with a different type of residual noise. The results found that people performed better under conversational noise, the second test applied. However, when the conversation is at a higher sound level and with higher intelligibility, people are more influenced by the residual noise in their test results. Participants showed a trend of similar performance in

results between acoustic conditions, regardless of the type of noise, indicating that the acoustic condition of the room interferes more in cognitive performance than the type of residual noise.

Keywords: subjective acoustic, user sound perception test, acoustic virtual reality.

1. Introdução

A arquitetura tem grande influência no conforto do usuário, impactando diretamente em aspectos físicos, psicológicos e fisiológicos, seja de modo positivo ou negativo. De modo geral, os usuários percebem essa influência quando há uma situação de desconforto, seja ele qual for. Algumas vezes, por hábito ou por desconhecimento de melhores condições, os usuários se adaptam e se acostumam a exercer determinadas funções sob condições não otimizadas ou próprias para tal. Esse é o caso de muitos estudantes que se acostumam a assistir aula e estudar em condições acústicas que não são consideradas as ideais. A arquitetura pode influenciar o desempenho do aluno, causando impacto significativo sobre o aprendizado e também sobre o comportamento [1].

Sabe-se que muitos estudos, como o de Seep *et al.* (2002) [2], contribuem com diretrizes e recomendações para acústica de salas de aula, indicando valores ideais para estes espaços, bem como normativas internacionais, como a *Building Bulletin* 93 [3], que podem ser adaptadas e seguidas para escolas brasileiras. No entanto, o costume com salas não adequadas acusticamente e características culturais podem fazer com que os usuários de salas de aula se adaptem a, por exemplo, fazerem uma prova em ambiente ruidoso. Klatte, Bergström e Lachmann [4] defendem que mesmo sons de intensidade baixa a moderada podem prejudicar o desempenho de pessoas em atividades que requerem algum esforço cognitivo, a depender do tipo de som ou ruído e da própria atividade.

O estudo conduzido por Schlittmeier *et al.* [5] mostrou que a memória de curto prazo é sensível aos efeitos dos sons no ambiente, principalmente de modo negativo e quando a atividade não é focada em um tipo de som específico. Além disso, normas para parâmetros acústicos em salas de aula, em geral, consideram salas desocupadas, o que não reflete a experiência subjetiva dos estudantes, bem como do professor. Quando as salas são acusticamente tratadas, a percepção do nível de perturbação provocado pelo ruído é menor ao comparar-se com salas não tratadas acusticamente [6].

Um dos meios de testar adequações e prever a qualidade do som em uma sala é a aurilização. Esse processo consiste em combinar digitalmente um som com uma resposta impulsiva de uma determinada sala em um dado ponto a fim de gerar um áudio que soe como uma situação real [7]. Combinada com outras técnicas e metodologias, a aurilização é um ótimo recurso para testar salas hipotéticas ou fazer previsões de salas reais em condições modificadas.

A fim de verificar o quanto os ruídos de tráfego e de conversa influenciam no desempenho cognitivo de usuários de salas de aula e se diferentes condições acústicas possuem interferência no referido desempenho, foram realizados testes em realidade virtual com aurilizações desses tipos de ruído em salas de aula com condições de isolamento sonoro e condicionamento acústico adequados e inadequados combinados entre si.

2. Metodologia

Para a pesquisa, foi escolhida uma sala de aula padrão da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) para ser usada como modelo. A sala de aula foi medida e simulada para reprodução da resposta impulsiva a ser utilizada na aurilização. Como o foco deste trabalho não é a medição e simulação, estas etapas metodológicas não serão apresentadas. Baseado no modelo real, foi gerado um filtro de isolamento sonoro da fachada. A sala foi, então, considerada como a condição inadequada, visto que a

resposta impulsiva resultava em um tempo de reverberação elevado e que o isolamento sonoro estava aquém do ideal, baseando-se nas recomendações do *Building Bulletin* 93 [3] e da NBR 10.152 [8].

Essas mesmas recomendações foram utilizadas para simulação de uma sala com resposta impulsiva e isolamento sonoros adequados. Essas condições foram combinadas entre si de modo a gerar quatro aurilizações com cada tipo de áudio, chamadas aqui de: RI_ruim_IS_ruim, RI_boa_IS_ruim, RI_ruim_IS_boa e RI_boa_IS_boa, sendo RI a sigla para Resposta Impulsiva e IS para Isolamento Sonoro. Os adjetivos “ruim” e “boa” estão associados às condições inadequada e adequada, respectivamente. As condições combinadas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Condições acústicas aurilizadas e suas características.

Nomenclatura da condição acústica	Resposta impulsiva	Filtro de isolamento acústico	Tipo de áudio gerado na aurilização
RI_ruim_IS_ruim	Sala real	Sala real	De maior intensidade (50 dB) e em ambiente com tempo de reverberação mais longo (2,2s em 500 Hz)
RI_boa_IS_ruim	Sala hipotética	Sala real	De maior intensidade (50 dB) e em ambiente com tempo de reverberação mais curto (0,6s em 500 Hz)
RI_ruim_IS_boa	Sala real	Sala hipotética	De menor intensidade (35 dB) e em ambiente com tempo de reverberação mais longo (2,2s em 500 Hz)
RI_boa_IS_boa	Sala hipotética	Sala hipotética	De menor intensidade (35 dB) e em ambiente com tempo de reverberação mais curto (0,6s em 500 Hz)
RI_silêncio	---	---	Ruído rosa

2.1 Áudios aurilizados

Primeiramente, foram gravados áudios em campo livre, sendo o de tráfego cedido do banco de dados do IHTA (RWTH Aachen University), gravado no cruzamento de duas grandes ruas da cidade (Figura 1) e o de conversas gravado próximo ao corredor central do Setor IV da UFRN (Figura 2). Ambos os áudios possuem modulação intermitente apresentando momentos mais silenciosos e outros mais ruidosos a depender do fluxo de veículos e pessoas naquele dado momento.

Figura 1 - Local de gravação do ruído de tráfego.



Fonte: adaptado de Google Earth (2022).

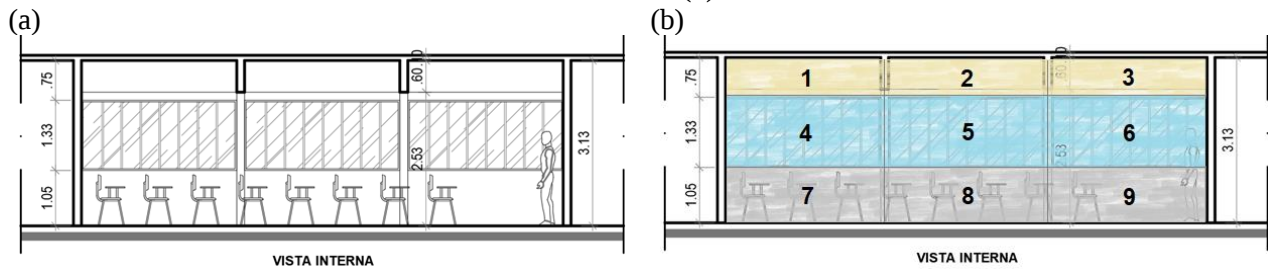
Figura 2 - Local de gravação do ruído de conversa.



Fonte: Autora (2023).

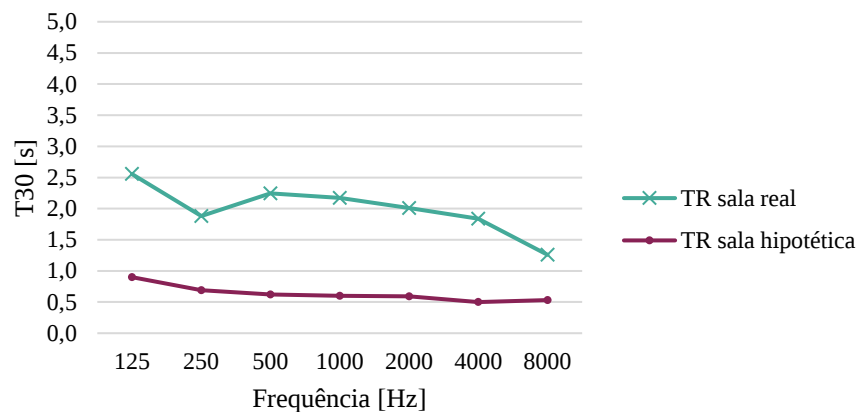
Em seguida, foram gerados filtros no *software* Matlab® para simular o isolamento acústico da sala, considerando os materiais existentes e uma situação hipotética em que as janelas seriam trocadas por esquadrias de melhor desempenho acústico com R_w de 30 dB, visto que as outras partes da fachada já possuem desempenho acústico adequado para o uso. A fachada da sala, vista na Figura 3 (a), foi dividida em nove partes de acordo com a arquitetura da sala, que possui modulação da estrutura, e diferentes materiais em cada módulo, como visto na Figura 3 (b). A viga de concreto armado é indicada pelos números 1, 2 e 3, enquanto as partes 4, 5 e 6 são as esquadrias em alumínio e vidro simples de 3mm e as partes 7, 8 e 9, alvenaria em bloco de concreto.

Figura 3 - Corte longitudinal da sala usada como modelo (a) e indicação da divisão da fachada para criação de filtro (b).



Após a criação dos filtros, a resposta impulsiva da sala foi simulada conforme situação real e hipotética usando o *software* RAVEN e o ITA-Toolbox através da interface do Matlab®. O tempo de reverberação por frequência de cada uma das salas é mostrado no gráfico da Figura 4. A situação real foi considerada inadequada e a sala hipotética, adequada. Essa última teve como referência os valores indicados pela BB 93 [3] e adequadas por frequência conforme indicações recomendadas por Bistafa (2011) [9]. Tanto em 500 quanto 1000 Hz, as salas têm tempo de reverberação iguais em cada uma das condições, sendo 0,6 segundos na sala hipotética e 2,2 segundos na sala real.

Figura 4 - Gráfico do tempo de reverberação resultante da resposta impulsiva de cada sala simulada.



Cada áudio foi, então, aurilizado com um tipo de filtro e um tipo de resposta impulsiva utilizando o Matlab®, o que resultou nas condições já apresentadas na Tabela 1. A nomenclatura indica qual filtro e qual resposta impulsiva foi considerada em cada uma das condições acústicas.

2.2 Experimento em realidade virtual

A sala de aula foi modelada no *software* Trimble Sketchup® e importada para o *software* Unity® para criação do ambiente em realidade virtual e integração do modelo do teste de desempenho cognitivo. Todas as etapas do teste eram dispostas como uma projeção no quadro branco, conforme visto na Figura 5.

Utilizando um par de óculos de realidade virtual do modelo VIVE Pro Eye e controle remoto do mesmo conjunto, além de fone de ouvido do modelo WH-1000XM3 da marca Sony equalizado e calibrado conectado ao computador através de placa de som da marca Focusrite, o participante realizava um teste seriado de recuperação de memória (em inglês, *serial recall test*). Os equipamentos utilizados são mostrados na Figura 6, enquanto a Figura 7 mostra uma participante realizando o experimento.

Figura 5 - Imagem do ambiente virtual como visto pelo participante ao direcionar o olhar para frente.



Fonte: *printscreen* do software Unity® (2023).

O teste consiste na memorização de números que aparecem na tela em ordem aleatória e que o participante deve repetir, apertando botões, na mesma ordem após uma pausa de 10 segundos. Enquanto os números são dispostos na tela, cada um de uma vez em ordem aleatória, o participante escuta o áudio aurilizado referente àquela condição de teste.

Figura 6 - Equipamentos utilizados pelos participantes durante o experimento.



Fonte: Autora (2023).

Figura 7 - Participante realizando experimento e tela mostrando o que é visto pelo participante.



Fonte: Autora (2023).

Cada bloco de teste consistia em uma rodada de 12 repetições de um teste, em que nove números apareciam de modo aleatório, sendo um número por vez por 1 segundo, seguidos por uma pausa de 10 segundos e uma tela com botões de 1 a 9 dispostos de forma aleatória, aos quais o participante devia apontar o controle e apertar na mesma ordem que foram mostrados na tela. Em cada bloco de teste o participante escutava um áudio diferente, de acordo com as condições aurilizadas.

Os participantes realizaram primeiro o experimento com ruído de tráfego e após 13 semanas realizaram o teste com ruído de conversa sob as mesmas condições. Ao todo, sete participantes foram voluntários nesse experimento, autorizado pelo Comitê de Ética CEP HUOL da UFRN em parecer sob número 5.389.129.

4. Resultados

Sete participantes realizaram os testes sob diferentes tipos de ruído, considerando as mesmas condições acústicas, visto que os áudios foram auralizados utilizando-se as mesmas respostas impulsivas e os mesmos filtros para isolamento sonoro. Esses participantes foram comparados através de um teste t de Student pareado. Para o grupo, o teste indicou que o p-valor não foi significativo a nível de 5% em nenhuma das condições acústicas, como pode ser observado na Tabela 2. Considerando-se um nível de significância a 10%, visto que a população do teste é pequena, pode-se dizer que houve uma diferença significativa na condição 04 (“RI_boa_IS_boa”) e extrapolar para a condição 03 (“RI_ruim_IS_boa”).

Tabela 2 - Resultado do teste t de Student para comparação pareada entre testes com diferentes ruídos.

Condição comparada	Condição 01	Condição 02	Condição 03	Condição 04
p-valor	0,24	0,25	0,12	0,10

Ao analisar individualmente cada participante, cujas médias por condição em cada um dos tipos de ruído estão dispostas nos gráficos da Figura 8 até a Figura 14, pode-se perceber que, à exceção do participante 06 (Figura 13), todos os participantes obtiveram melhores resultados no teste com ruído de conversa em pelo menos três das quatro condições. Considerando que ruídos com maior alternância de modulação e flutuação impactam de maneira mais significativa na memória de curto prazo [10], há uma hipótese de que os participantes conseguiram melhores resultados no ruído de conversa por já conhecerem o teste e se concentrarem somente na tarefa, não desviando a atenção para o teste em si.

O único participante cuja tendência de comportamento das respostas entre condições apresenta-se discrepante é o participante 05. Para esse participante, as condições acústicas com o ruído de conversa apresentaram resultados com diferenças mais sutis, enquanto o ruído de tráfego teve maior variação das taxas de acerto entre condições acústicas. A discrepância dos resultados da condição “RI_boa_IS_boa” em ambos os testes para este participante foi um fator de influência para um p-valor mais baixo.

Figura 8 - Gráfico comparativo entre médias do Participante 01 em ambos os testes.

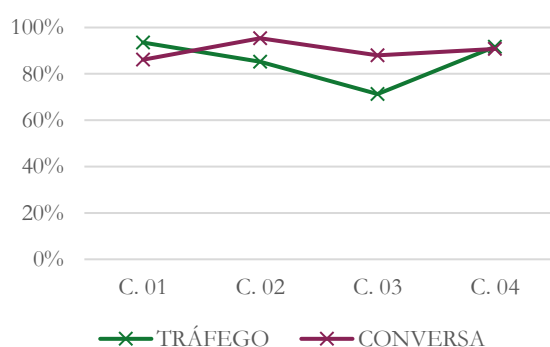


Figura 9 - Gráfico comparativo entre médias do Participante 02 em ambos os testes.

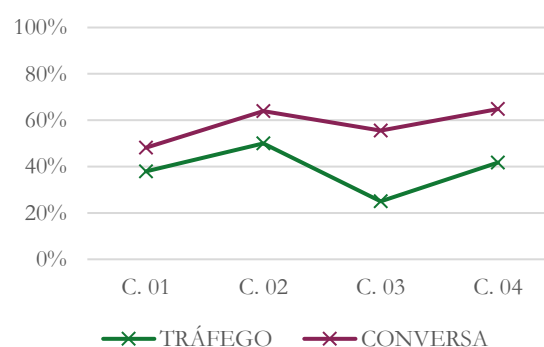


Figura 10 - Gráfico comparativo entre médias do Participante 03 em ambos os testes.

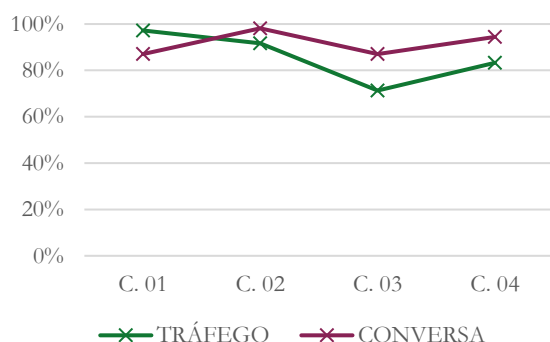


Figura 11 - Gráfico comparativo entre médias do Participante 04 em ambos os testes.

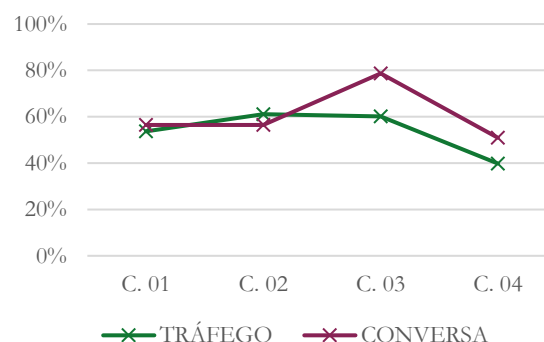


Figura 12 - Gráfico comparativo entre médias do Participante 05 em ambos os testes.

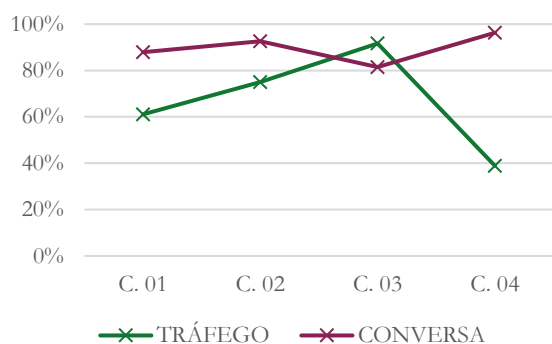


Figura 13 - Gráfico comparativo entre médias do Participante 06 em ambos os testes.

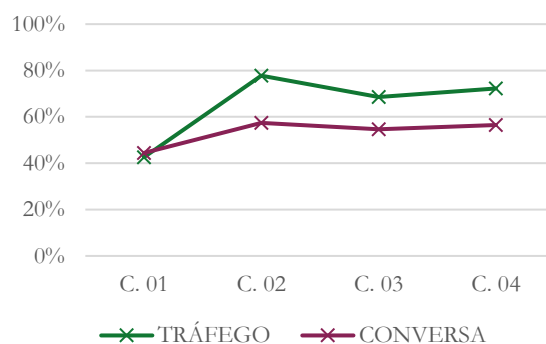
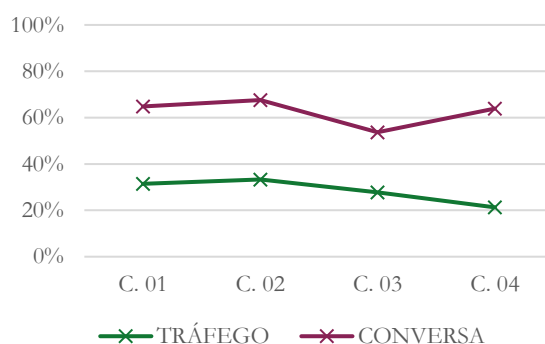
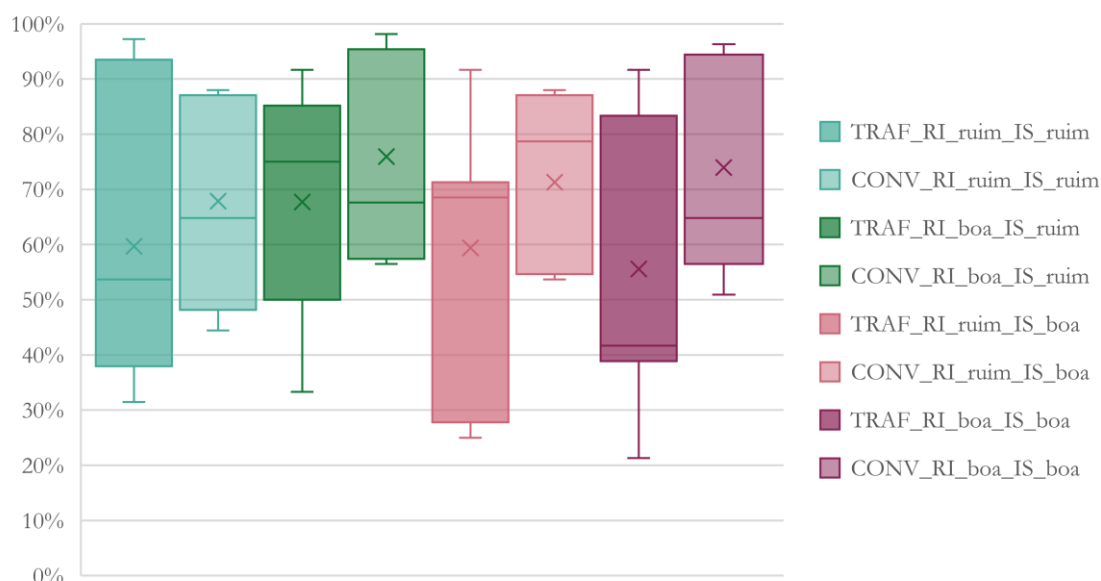


Figura 14 - Gráfico comparativo entre médias do Participante 07 em ambos os testes.



Ao avaliar os resultados agrupados através do gráfico do tipo *boxplot* mostrado na Figura 15, é possível perceber que tem todas as condições acústicas os resultados das médias sob ruído de tráfego são mais baixos, à exceção da condição “RI_boa_IS_ruim”, ou seja, aquela em que o isolamento ruim faz com que o áudio seja reproduzido em um nível mais elevado e a resposta impulsiva boa faz com que o áudio tenha mais clareza no conteúdo. Isso indica que a inteligibilidade da fala no ruído de conversa atrapalhou mais os participantes, de um modo geral, embora essa condição apresente também o maior valor de média obtido (98,15% de acerto).

Figura 15 - Gráfico *boxplot* dos resultados em cada condição acústica por tipo de ruído.

Os resultados obtidos indicam que as mesmas pessoas desempenham de modo diferente sob diferentes tipos de ruído ao considerar uma sala com as mesmas condições acústicas. De mesma forma, as condições acústicas interferem no desempenho delas em tal atividade, mesmo que uma tendência clara não tenha sido encontrada neste grupo. O ruído de tráfego, ainda que não apresente características típicas de ruídos distratores [4], ainda produziu efeito distrator mais significativo que conversa nestes participantes.

5. Considerações finais

O objetivo deste trabalho foi avaliar se o tipo de ruído residual influenciava na performance das pessoas quanto à memorização de curto prazo, bem como se a mudança das condições acústicas da sala, tanto quanto ao isolamento como quanto ao condicionamento acústico, influenciava no desempenho cognitivo. Embora os valores não tenham mostrado diferenças significativas quanto às análises estatísticas, pode-se concluir que, para este grupo, o ruído de tráfego influenciou mais negativamente o desempenho cognitivo dos participantes para esta atividade em comparação ao ruído de conversa, que só impactou mais quando apresentava nível sonoro elevado e alta inteligibilidade (condição “RI_boa_IS_ruim”).

Os resultados para ruído de tráfego tiveram maior variação de amplitude em comparação ao teste com ruído de conversa, que mostrou resultados mais semelhantes entre participantes. Ainda assim, foi observada uma alta variabilidade nas médias de taxas de acerto, visto que cada pessoa possui estratégias e capacidade de memorização diferentes.

Os participantes mostraram uma tendência semelhante entre condições acústicas independente do tipo de ruído quando avaliados individualmente, à exceção de um participante. Pode-se inferir que as condições acústicas interferem mais no desempenho cognitivo do participante do que o tipo de ruído em si, já que os participantes desempenharam de modo semelhante entre ruídos.

Outra conclusão foi que, por conhecerem o teste, os participantes tiveram melhores resultados no teste que utilizou ruído de conversa. Sugere-se alterar a ordem dos testes entre participantes num novo estudo.

6. Agradecimentos

Agradecemos à Capes pelo auxílio financeiro para realização desta pesquisa através do edital Capes-PRINT de bolsas de doutorado-sanduíche. Agradecemos também ao professor Michael Vorländer pela orientação e à aluna de doutorado Anne Heimes pelo apoio na implementação e desenvolvimento deste experimento, ambos afiliados ao Institute of Hearing Technology and Acoustics (IHTA) da RWTH Aachen University. Por fim, agradecemos ao professor Charles Madeira e Alyson Souza, que cederam os equipamentos e o Laboratório de Jogos, no IMD-UFRN, para condução do experimento.

Referências

- [1] Kowaltowski DCCK, Moreira DC, Deliberador MS. O Programa Arquitetônico No Processo De Projeto: Discutindo a Arquitetura Escolar, Respeitando O Olhar Do Usuário. In: Salgado MS, Rheingantz PA, editors. O programa arquitetônico no processo de projeto: discutindo a arquitetura escolar, respeitando o olhar do usuário. 1st ed., Rio de Janeiro: Antac; 2012, p. 160–85.
- [2] Seep B, Glosemeyer R, Hulce E, Linn M, Aytar P. Acústica de salas de aulas. *Acústica e Vibrações* 2002;2–22.
- [3] Education Funding Agency. Building bulletin 93 - Acoustic design of schools: performance standards. vol. 93. United Kingdom: 2015.

- [4] Klatte M, Bergström K, Lachmann T. Does noise affect learning? A short review on noise effects on cognitive performance in children. *Front Psychol* 2013;4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00578>.
- [5] Schlittmeier SJ, Weißgerber T, Kerber S, Fastl H, Hellbrück J. Algorithmic modeling of the irrelevant sound effect (ISE) by the hearing sensation fluctuation strength. *Atten Percept Psychophys* 2012;74:194–203. <https://doi.org/10.3758/s13414-011-0230-7>.
- [6] Connolly D, Dockrell J, Shield B, Conetta R, Cox T. Adolescents' perceptions of their school's acoustic environment: The development of an evidence based questionnaire. *Noise Health* 2013;15:269. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.113525>.
- [7] Vorländer M. Auralization. 2nd ed. Cham: Springer; 2020. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-51202-6>.
- [8] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 10.152: Acústica - Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Brasil: 2017. <https://doi.org/01.080.10; 13.220.99>.
- [9] Bistafa SR. Acústica aplicada ao controle do ruído. 2nd ed. São Paulo: Blucher; 2011.
- [10] Klatte M, Lachmann T, Meis M. Effects of noise and reverberation on speech perception and listening comprehension of children and adults in a classroom-like setting. *Noise Health* 2010;12:270–82. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.70506>.