ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Adequação acústica em restaurante universitário: Estudo no RESUN – UFS

Acoustic adequacy in a university restaurant: Study at RESUN – UFS

Anna Carolina do Amparo de Souza
Dep. Arquitetura e Urbanismo – UFS |Laranjeiras|Brasil|annacarolinaamp@academico.ufs.br
Thiago Silva Cézar
Dep. Arquitetura e Urbanismo – UFS |Laranjeiras |Brasil|thiago.cezar@academico.ufs.br
Italo César Montalvão Guedes
Dep. Arquitetura e Urbanismo – UFS |Laranjeiras|Brasil|italomontalvao@academico.ufs.br

Resumo

Em restaurantes, a falta de qualidade acústica prejudica a comunicação verbal e a privacidade entre mesas. Neste contexto, esta pesquisa avaliou o desempenho acústico do restaurante universitário do *Campus* São Cristóvão - Universidade Federal de Sergipe (RESUN - UFS), para propor estratégias de adequação. A metodologia envolveu as etapas de caracterização física do local de estudo, medição de níveis de pressão sonora, gravação de respostas impulsivas, simulações e análises acústicas da situação existente e após proposta de adequação. O desempenho acústico foi avaliado com base no tempo de reverberação (TR), definição (D_{50}) e na predição do esforço vocal dos usuários. Os resultados obtidos apontam para a inadequação das condições acústicas existentes, considerando referências da literatura técnica. Quanto ao esforço vocal, verificou-se que, para o alcance da inteligibilidade da fala, os usuários teriam que elevar o nível sonoro da voz, podendo provocar uma comunicação verbal desgastante na área do refeitório. A adequação acústica proposta mostrou-se promissora no controle da reverberação na busca pela qualidade acústica local.

Palavras-chave: Restaurante. Tempo de reverberação. Esforço vocal. Relação sinal-ruído.

Abstract

In restaurants, the lack of acoustic quality hinders verbal communication and privacy between tables. In this context, this research evaluated the acoustic performance of the university restaurant at Campus São Cristóvão - Universidade Federal de Sergipe (RESUN - UFS), to propose adaptation strategies. The methodology involved the steps of physical characterization of the study site, measurement of sound pressure levels, recording of impulsive responses, simulations and acoustic analysis of the current situation and after adaptation proposals. Acoustic performance was assessed based on reverberation time (TR), definition (D_{50}) and the prediction of users' vocal effort. The results obtained point to the inadequacy of the existing acoustic conditions, considering references from the technical literature. Regarding vocal effort, it was found that, to achieve speech intelligibility, users would have to raise the sound level of their voice, which could cause exhausting verbal communication in the cafeteria area. The proposed acoustic adaptation proved promising in controlling reverberation for local acoustic quality.

Keywords: Restaurant. Reverberation time. Vocal effort. Signal-to-noise ratio.

Como citar:
SOUZA, A. C. A., CÉZAR, T. S., GUEDES, I. C. M. Adequação acústica em restaurante universitário: Estudo no RESUN – UFS. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

INTRODUÇÃO

As ondas sonoras são vibrações de moléculas de ar que se propagam a partir de estruturas vibrantes e que são transformadas em uma forma de sensação quando chegam até os ouvidos. Essa sensação pode ser classificada como som ou ruído [1]. Em restaurantes, encontrar soluções para garantir, na experiência de seus usuários a inteligibilidade da fala e a privacidade, são fatores fundamentais para alcançar uma boa qualidade acústica, devendo ter atenção especial para o controle adequado da reverberação e da relação sinal - ruído (SNR).

O tempo de reverberação (T_{60}) é o tempo, em segundos, referente ao decaimento de 60 dB no nível de pressão sonora, após a fonte sonora ter sido interrompida [2][3]. O fenômeno da reverberação em ambientes fechados está atrelado ao processo de emissão de um som direto e suas reflexões nas diversas superfícies internas de um recinto, estando relacionado com a inteligibilidade da fala [4].

Já a relação sinal-ruído (SNR) é definida como a diferença entre o nível do sinal acústico da fonte sonora e o nível de pressão sonora do ambiente (em dB) [3]. A razão SNR está vinculada à tendência involuntária do ser humano de quanto maior o ruído residual, maior o esforço vocal de quem utiliza o espaço. Esta tendência é conhecida como efeito Lombard, que ocorre na faixa de 45 dB de ruído ambiente e um nível de fala de 55 dB, que está relacionado a um esforço vocal de 55 dB para alcançar inteligibilidade em uma sala [5]. O efeito Lombard ocorre quando muitas pessoas, falando em uma sala, elevam o nível de pressão sonora do ambiente, ocasionando com que todos aumentem o volume sonoro da voz, aumentando ainda mais o nível de ruído local.

O conforto acústico em restaurantes pode ser percebido pelos usuários em termos de tranquilidade enquanto comem e se comunicam. O tempo de reverberação e a variação entre os níveis sonoros em diferentes tipos de restaurantes são parâmetros relacionados às propriedades físicas de cada ambiente. A combinação de materiais que revestem as superfícies, o nível de isolamento da área de serviços do restaurante em relação aos espaços de refeição (onde estão localizadas as mesas), bem como, a taxa de ocupação do restaurante são variáveis que afetam diretamente a sensação de privacidade e conforto acústico dos usuários [6].

A inteligibilidade da fala é a principal característica acústica de um ambiente, pois reflete o grau de entendimento das palavras em seu interior [4]. Ou seja, a inteligibilidade da fala é entendida como a maior ou menor capacidade de reconhecimento da palavra falada em certo local. Em restaurantes, geralmente as conversas, tanto entre usuários quanto entre funcionários, ocorrem a curtas distâncias. A inteligibilidade da fala nesses ambientes é afetada pelo nível de ruído residual que, nesse caso, é o ruído produzido pelas conversações paralelas em relação a determinado grupo de pessoas se comunicando, acrescido dos ruídos do ambiente, como música, movimentação de cadeiras, etc. [7].

O desempenho acústico do RESUN-UFS foi analisado com base nos parâmetros acústicos objetivos (medidos e/ou simulados), como o tempo de reverberação (T_{20}) e Definição (D_{50}), e por meio da predição do esforço vocal dos usuários [8].

A literatura técnica aponta que T_{60} (T_{20} ou T_{30}) e D_{50} estão entre os principais parâmetros objetivos relacionados com a inteligibilidade da fala, que por sua vez tem papel crucial na qualidade acústica de ambientes, cujo uso está centrado na palavra falada [3]. T_{20} consiste em uma medida equivalente ao tempo de reverberação, ou seja, corresponde ao tempo de decaimento de 60 dB no nível de pressão sonora, considerando, a faixa dinâmica de - 5 dB a -25 dB (Equação 1). De forma similar, também é possível obter o parâmetro T_{30}, como sendo equivalente ao T_{60}, porém, devendo considerar a faixa de -5 dB a -35 dB. Portanto, os valores de T_{20}, T_{30} e T_{60} são equivalentes, sendo as suas possíveis diferenças decorrentes da variabilidade experimental [3].

$$T_{20} = 3\,(t_{-25} - t_{-5}) \tag{1}$$

onde:

t_{-25} é o instante em que o nível sonoro decaiu -25 dB, em segundos.

t_{-5} é o instante em que o nível sonoro decaiu -5 dB, em segundos.

Quanto ao parâmetro D_{50}, é definido como a razão entre a energia existente nas primeiras reflexões (especificamente, nos primeiros 50 ms) e a energia total, conforme Equação 2. Este parâmetro está atrelado ao maior ou menor grau de inteligibilidade da fala, uma vez que as primeiras reflexões, dentro do intervalo de tempo mencionado, "[...] tendem a ser integradas ao som direto pelo sistema auditivo" [3, p.507]. Por fim, ressalta-se que tal parâmetro é medido na escala linear ou em %. Valores de D_{50} superiores a 0,5 (50%) indicam que maior quantidade de energia se concentra nas primeiras reflexões e não na cauda reverberante [3], e quanto maior for o seu valor, melhor será a inteligibilidade da fala em um ambiente.

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50\ \mathrm{ms}} h^2(t)\,\mathrm{d}t}{\int_0^{\infty} h^2(t)\,\mathrm{d}t}. \tag{2}$$

onde:

$h\,(t)$ é a resposta ao impulso.

Inserido nesta temática, este artigo apresenta os primeiros resultados da pesquisa cujo objetivo foi avaliar o desempenho acústico do restaurante universitário do *Campus* São Cristóvão da Universidade Federal de Sergipe (RESUN-UFS), a fim de propor estratégias para adequação acústica.

OBJETIVO

O objetivo geral deste artigo foi avaliar o desempenho acústico do restaurante universitário do *Campus* de São Cristóvão da Universidade Federal de Sergipe (RESUN-UFS), a fim de propor estratégias de adequação.

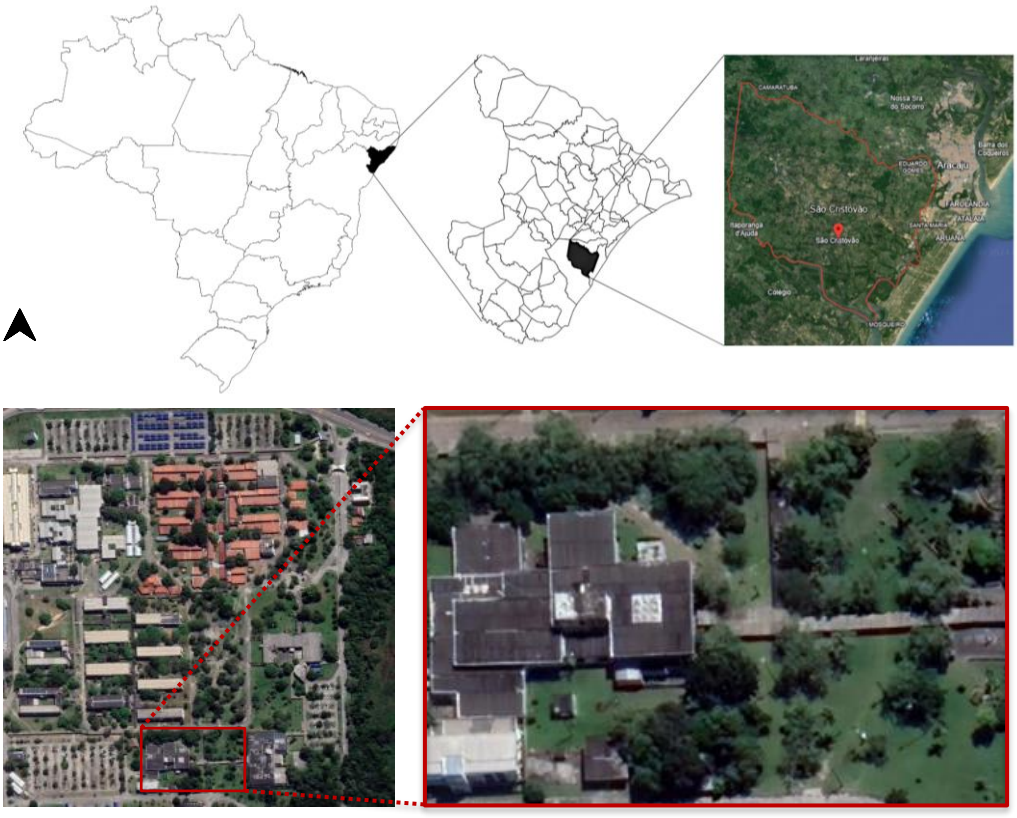
MATERIAIS E MÉTODO

A abordagem metodológica adotada neste estudo baseou-se em avaliações quantitativas, contemplando as seguintes etapas: (*i*) caracterização física do objeto de estudo (áreas do refeitório), (*ii*) coleta de dados acústicos (medição de níveis de pressão sonora e gravação de respostas impulsivas), (*iii*) modelagem e simulação, e (*iv*) análises dos resultados dos cenários, existente e após proposta de adequação acústica. A caracterização do objeto de estudo e as explicações de cada uma dessas etapas metodológicas são apresentadas a seguir.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO OBJETO DE ESTUDO

O local de estudo foi o restaurante universitário do *campus* Prof. José Aloísio de Campos da Universidade Federal de Sergipe (UFS), no município de São Cristóvão/SE, limítrofe à Aracaju, capital de Sergipe, Brasil (Figura 1).

Figura 1: Mapas do Brasil e Sergipe, destaque para São Cristóvão (acima). Vista aérea parcial do *Campus* São Cristóvão – UFS (abaixo, à esquerda) e vista aérea do RESUN (abaixo, à direita)



Fonte: Google Earth, 2024, adaptado pelos autores.

As áreas do refeitório foram o objeto de estudo deste trabalho, estando distribuídas em dois pavimentos (térreo e superior). No térreo, estão dispostas 40 mesas retangulares para 8 pessoas (lotação: 320 lugares) e no pavimento superior, 22 mesas similares (lotação: 176 lugares). Ou seja, o RESUN possui a lotação máxima de 496 lugares. As áreas e volumes dos pavimentos, térreo e superior, são de 510,00m^2/1.595,72m^3 e 200,00m^2/953,20m^3, respectivamente, acoplados entre si por

um vazio com área de 100,00m², configurando o espaço do mezanino (Figura 2). O refeitório possui volume total de 2.548,92m³.

A caracterização física do refeitório foi feita a partir de visitas *in loco* através de registros fotográficos e conferências das dimensões físicas das plantas baixas dos pavimentos, térreo e superior (Figura 2), que foram cedidas pela Divisão de Projetos (DIPRO/INFRAUFS). As superfícies internas aparentes, que compõem o objeto de estudo, são constituídas por materiais reflexivos, por exemplo, paredes com reboco liso, pilares e vigas de concreto aparente, piso de cimento polido de alto impacto (granilite), forro de policloreto de vinil (PVC), esquadrias de vidro em estrutura de alumínio. Entre os mobiliários, têm-se: mesas com tampo em *Medium Density Fiberboard* (MDF) e cadeiras em estrutura metálica, *buffets self-service* com superfícies metálicas e balcões para apoio de pratos e talheres.

Na subseção "Modelagem e simulação", é apresentado o modelo acústico - geométrico do objeto de estudo, com informações dos coeficientes de absorção acústica das superfícies/elementos existentes no local, extraídas da literatura técnica e empresas fornecedoras (no caso dos materiais específicos para adequação acústica).

Figura 2: Plantas baixas do RESUN-UFS, com destaque em verde das áreas do refeitório (acima) e registros fotográficos da área do refeitório (abaixo)



Fonte: os autores.

COLETA DE DADOS ACÚSTICOS

Nesta etapa, foram realizadas medições de níveis de pressão sonora (NPS) em áreas internas do RESUN, em dias úteis do semestre letivo, em horário de uso normal da área do refeitório, a fim de caracterizar o ruído ambiente e identificar as principais fontes sonoras. Em etapa subsequente, foram feitas gravações de respostas impulsivas para obtenção do tempo de reverberação. Os níveis de pressão sonora foram medidos em

12/12 e 15/12/2023 (terça e sexta, entre 11h50 e 12h30), no pavimento térreo. Já as gravações das respostas impulsivas foram feitas no dia 09/03/2024 (sábado, entre 9h e 12h), em ambos os pavimentos.

Para as medições de NPS, foram usados os seguintes equipamentos: sonômetro digital, mod. *SoundTrack LxT* e calibrador acústico, mod. *CAL 200*, ambos da marca *Larson Davis* e classe 1 de precisão. O instrumento foi apoiado em tripé (altura de 1,50m em relação ao piso), ajustado na escala de compensação "A" e modo *Fast*. Cada medição teve duração de 10 min, adotando-se como descritor acústico, o nível de pressão sonora equivalente contínuo ($L_{Aeq,10min}$). O sonômetro foi ainda configurado para medir NPS nas bandas de 1/1 oitava, na escala linear "Z" de ponderação. Na primeira campanha de medição de NPS, foram alocados três pontos de medição entre as mesas (P1 a P3) e no segundo dia, foram considerados mais dois pontos (P4 e P5) (Figura 3).

Figura 3: Planta baixa do refeitório, com os pontos de medição

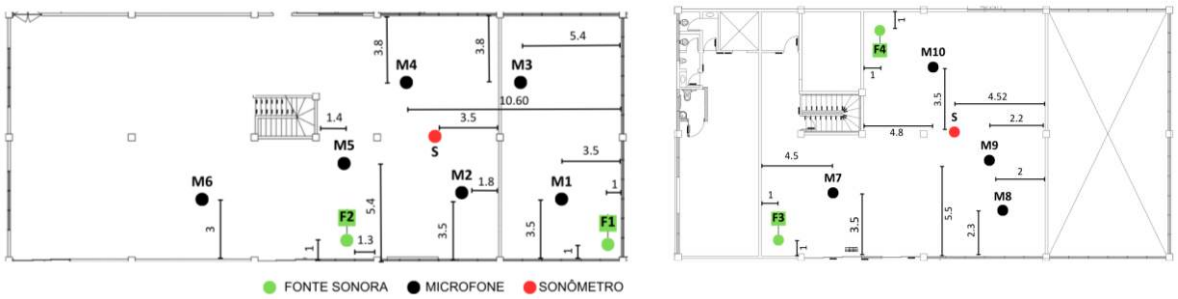


Fonte: DIPRO/INFRAUFS, adaptado pelos autores.

As gravações das respostas impulsivas foram feitas sem a presença de usuários ou funcionários, com as janelas fechadas. Este experimento foi executado por três pessoas, portanto, sendo as únicas presentes no recinto nas gravações. Os pontos para localização das fontes sonoras e dos receptores foram definidos com base na NBR ISO 3.382-2 [9]. Para os pontos receptores, respeitou-se o afastamento mínimo de 1,00 m das superfícies refletoras (paredes e janelas, pisos, mobiliários) e de 2,00 m entre si. Quanto às posições das fontes de excitação sonora, foram definidos quatro, sendo dois pontos no pavimento térreo (F1 e F2) e mais dois no pavimento superior (F3 e F4), com afastamento de 1m das superfícies de paredes adjacentes. A Figura 4 mostra as plantas baixas com a marcação dos pontos referentes às fontes (F1 a F4) e aos receptores (M1 a M10). A altura adotada para a fonte sonora foi de 1,80 m e dos microfones de 1,50 m em relação ao piso.

Os materiais e equipamentos usados nessas gravações, foram: bolas de assopro de látex nº 9 (fonte de excitação sonora), microfone condensador (mod.: *Behringer, ECM8000*), tripé, cabo para microfone balanceado blindado *XLR-Amphenol*, interface de áudio *Presonus Audiobox* Usb - 2 canais, *notebook* (marca *Dell Inspiron* 14, série 3000) e *software* livre e de código aberto para gravar e editar sons – *Audacity*. Ressalta-se ainda que entre as gravações das respostas impulsivas foram realizadas medições de NPS para verificação do som residual, com o mesmo sonômetro usado em medições anteriores.

Figura 4: Plantas baixas do térreo (à esquerda) e superior (à direita) do interior do refeitório, com as posições de fonte (em verde), do microfone (em preto) e do sonômetro (em vermelho)

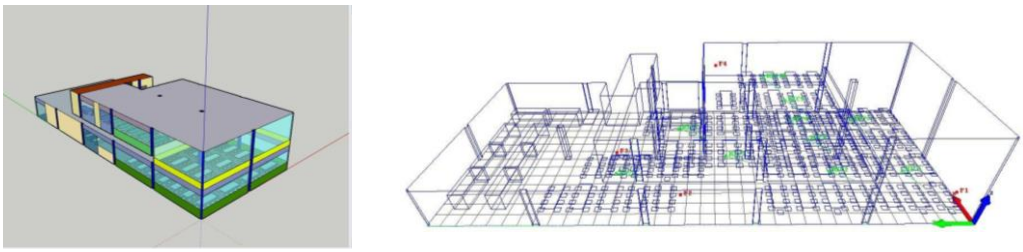


Nota: O sonômetro foi usado para verificação do nível de som residual. Fonte: DIPRO/INFRAUFS, adaptado pelos autores.

MODELAGEM E SIMULAÇÃO

A etapa de modelagem e simulação foi iniciada no *software SketchUp®* (versão gratuita). No *SketchUp*, o modelo geométrico foi criado, obedecendo às recomendações da literatura técnica quanto a sua simplicidade. Ou seja, as superfícies internas e demais elementos, como mobiliários, foram modelados de forma plana, uma vez que quando muito detalhadas, maior será a possibilidade de erro durante as simulações [10]. Em seguida, o modelo foi importado para o *software* de simulação acústica aberto *I-Simpa* para criação do modelo acústico-geométrico, inserindo-se as quatro fontes sonoras (*point source*) e dez pontos receptores (*punctual receivers*). Além disso, foram inseridas as propriedades acústicas de cada material (coeficientes de absorção sonora e de espalhamento). A Figura 5 mostra imagens do modelo acústico - geométrico do refeitório (cenário existente).

Figura 5: Modelo geométrico, criado no *SketchUp* (à esquerda) e Modelo acústico-geométrico no *I-Simpa* (à direita)



Fonte: os autores.

O Quadro 1 traz os coeficientes de absorção sonora aplicados nas superfícies internas nos modelos desenvolvidos para os cenários, existente e hipotético de adequação acústica. Os coeficientes de absorção dos materiais mais convencionais foram extraídos da literatura técnica, enquanto que dos materiais específicos para adequação acústica, foram obtidos em catálogo comercial. Para os coeficientes de espalhamento, adotou-se a metodologia do *software ODEON*. Nesta metodologia, a partir do tipo de superfície, o coeficiente de espalhamento é extrapolado a uma frequência de 707 Hz. Este procedimento foi adotado também por [11].

Quadro 1: Valores dos coeficientes de absorção sonora das superfícies internas do refeitório por material

Superfície/elementos	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Fonte
Piso	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	[1]
Paredes	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	[1]
Pilares	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	[1]
Vigas	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	[1]
Lajes	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	[1]
Esquadrias de alumínio	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	[1]
Portas de madeira	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10	[1]
Janelas de vidro	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	[1]
Forro de PVC	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	[12]
Mesas e cadeiras	0,42	0,21	0,10	0,08	0,06	0,06	[10]
Espaço vazio	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	[4]
Painéis RevestDecor IR50*	0,33	0,64	0,98	1,00	0,96	0,86	TRISOFT**
Painéis Frame IR50*	0,33	0,64	0,98	1,00	0,96	0,86	TRISOFT**
Forro AE IR50*	0,64	0,91	0,83	0,95	0,99	1,00	TRISOFT**

Notas: * Materiais adicionados na proposta de adequação; ** Disponível em: https://trisoft.com.br/concurso/catalogo-solucoes-acusticas-arquitetonicas.pdf, acesso em: 07/05/2024. Fonte: os autores.

Na simulação acústica, adotou-se o método de cálculo "energético", o número de partículas por fonte sonora de 1.000.000, segundo orientações do manual do *I-SIMPA* (<https://readthedocs.org/projects/i-simpa-wiki/downloads/pdf/latest/>) e raio de recepção de 0,31 m para os microfones. Quanto aos parâmetros ambientais inseridos, têm-se: T_{ar} = 32ºC, UR = 81 %, P_{atm} = 101.325 Pa.

FORMA DE ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO

O desempenho acústico do RESUN foi analisado com base nos parâmetros acústicos objetivos (medidos e/ou simulados), como tempo de reverberação (T_{20}) e Definição (D_{50}), além da predição do esforço vocal dos usuários [8]. As análises contemplaram as condições acústicas existentes e cenário hipotético com proposta de adequação. Ademais, os valores de referência para T_{20} e D_{50}, foram extraídos da literatura técnica.

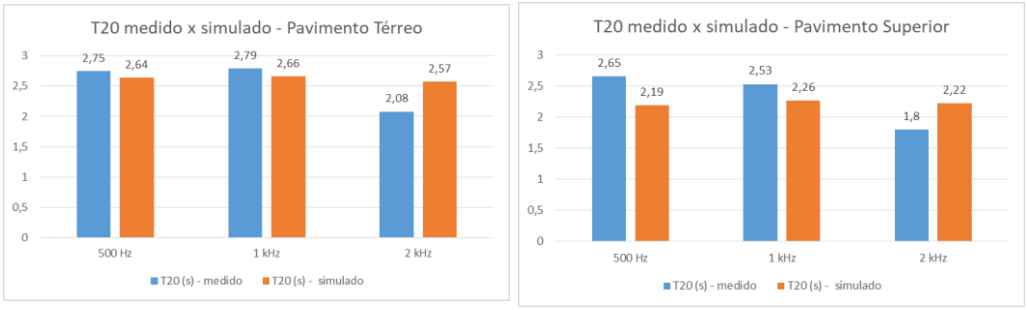
Para o tempo de reverberação, considerou-se a NBR ISO 3.382-2 [9] no processo de validação do modelo acústico - geométrico e para análise da qualidade acústica, foram adotados os valores ótimos estabelecidos por [8] [13], uma vez que no Brasil, até onde os autores deste artigo sabem, não existe norma específica com valores de referência de tempo de reverberação para restaurantes. Quanto ao parâmetro D_{50}, foram adotados os valores de referência de [14]. Por fim, para a análise do esforço vocal, adotou-se a norma ISO 9.921-1 [15].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção traz os resultados e discussão da validação do modelo acústico-geométrico e das análises do desempenho acústico, a partir de T_{20} e D_{50}, e predição do esforço vocal dos cenários, existente e com adequação acústica.

O gráfico da Figura 6 mostra os resultados da média espacial dos valores medidos e simulados de T_{20} para as bandas de 500Hz, 1kHz e 2kHz, considerando todas as combinações fonte-receptor de cada pavimento analisado.

Figura 6 - Valores médios de T_{20}, medidos e simulados: pavimento térreo (à esquerda) e pavimento superior (à direita)



Fonte: os autores.

A partir dos dados da Figura 6, os valores médios de $T_{20\ (500Hz\ -\ 1kHz)}$ e $T_{20\ (500Hz\ -\ 1kHz\ -\ 2kHz)}$ foram: 2,77s/2,54s e 2,59s/2,33s para os pavimentos, térreo e superior, respectivamente. O tempo de reverberação ótimo - $TRo_{(500Hz\ -\ 1kHz)}$ para esforço vocal satisfatório, segundo Rindel [8], deve ser de 0,75s (pavimento térreo) e 0,81s (pavimento superior), como será visto mais adiante. Já com base em [13], os valores de $TRo_{(500Hz-1kHz-2kHz)}$, considerando os volumes dos pavimentos, térreo e superior, devem ser de 1,75s e 1,48s. Ou seja, observa-se que os valores medidos e simulados de T_{20} para a situação existente, não atendem às referências adotadas neste estudo.

Ainda com base na Figura 6, nota-se que os valores medidos e simulados de T_{20} se mostram aproximados. Entretanto, a partir da NBR ISO 3.382-2 [9] quanto ao *Just noticeable difference* (JND) de 5% para T_{20}, este critério foi atendido apenas para o pavimento térreo. Porém, face às incertezas inerentes a qualquer processo de simulação, considerou-se o modelo acústico - geométrico válido para ser usado na etapa de simulação do cenário de adequação acústica.

Outra análise realizada no cenário existente, foi de predição do esforço vocal. Durante as medições de NPS na área do refeitório em atividade normal, os valores obtidos de $L_{Aeq,10min}$ variaram de 77,5 dB a 81,4 dB, considerando os pontos P1 a P5, e uma taxa de ocupação de 83 a 87%. Pela análise dos espectros sonoros, observou-se que os maiores valores de NPS estão nas bandas de frequência características da voz humana, ou seja, 500 Hz e 1 kHz, sendo portanto, a principal fonte de ruído local.

A partir da planilha[1] para predição do nível de ruído ambiente, baseada em Rindel [8], ao considerar 80% de ocupação e as características físico-acústicas existentes no refeitório, como, $T_{20\ (500Hz\ -\ 1kHz)}$, volume, mobiliário, ocupação, tamanho de grupo (g), o valor estimado de nível de ruído ambiente foi de 83 dB. Os resultados evidenciam um

[1] A versão da planilha usada neste artigo foi adaptada pelo arq. Felipe Paim, da empresa Audium, a partir da planilha, originalmente, desenvolvida pelo arq. Marcos Holtz, da empresa Harmonia Acústica, com base em Rindel [8].

ambiente reflexivo, podendo gerar esforço vocal de 74 dB. Segundo a ISO 9.921-1 [15], o esforço vocal de 74 dB é considerado alto, o que torna a qualidade da comunicação difícil [16]. Ao relacionar o ruído ambiente com o nível da fala, a planilha estimou SNR entre -8,76 e -8,42 dB, sendo insuficiente (Figura 7).

Figura 7: Predição de esforço vocal no cenário existente do refeitório (RESUN-UFS): pavimento térreo (à esquerda) e pavimento superior (à direita)

Volume da Sala (V)	1595,72	m³
TR 500 Hz (Restaurante Desocupado)	2,75	s
TR 1000 Hz (Restaurante Desocupado)	2,79	s
Ocupação Total (N)	320	Pessoas
80% da Ocupação Total (N80)	256	Pessoas
Tamanho do Grupo (g)	3,5	Pessoas
Volume da Cadeira (Vc)	0,14	m³
Número de Cadeiras (Nc)	320	Unidades
Volume da Mesa (Vm)	0,70	m³
Número de Mesas (Nm)	40	Unidades
Absorção Equivalente da Sala (A)	244,4	(m² sabine)
Ruído Ambiente L N,A	82,52	dB(A)
Esforço Vocal L S,A,1m	74	dB(A)

RELAÇÃO SINAL RUÍDO (SNR)			
Muito Ruim	Menor que	-9	-8,76
Insuficiente	Entre	-9 e -6	
Suficiente - Classe II	Entre	-6 e -3	
Suficiente - Classe I	Entre	-3 e 0	
Satisfatório	Entre	0 e 3	
Bom	Entre	3 e 9	
Muito Bom	Maior que	9	

Para g=3,5, Ap=0,5, SNR=-6 e N=80%	
Capacidade Acústica (Nmáx)	71 pessoas
Capacidade Acústica (Nmáx) + 25%	88 pesssoas
Tr Ótimo ≤	0,75s

Volume da Sala (V)	953,20	m³
TR 500 Hz (Restaurante Desocupado)	2,65	s
TR 1000 Hz (Restaurante Desocupado)	2,53	s
Ocupação Total (N)	176	Pessoas
80% da Ocupação Total (N80)	141	Pessoas
Tamanho do Grupo (g)	3,5	Pessoas
Volume da Cadeira (Vc)	0,14	m³
Número de Cadeiras (Nc)	176	Unidades
Volume da Mesa (Vm)	0,70	m³
Número de Mesas (Nm)	22	Unidades
Absorção Equivalente da Sala (A)	145,5	(m² sabine)
Ruído Ambiente L N,A	81,83	dB(A)
Esforço Vocal L S,A,1m	73	dB(A)

RELAÇÃO SINAL RUÍDO (SNR)			
Muito Ruim	Menor que	-9	-8,42
Insuficiente	Entre	-9 e -6	
Suficiente - Classe II	Entre	-6 e -3	
Suficiente - Classe I	Entre	-3 e 0	
Satisfatório	Entre	0 e 3	
Bom	Entre	3 e 9	
Muito Bom	Maior que	9	

Para g=3,5, Ap=0,5, SNR=-6 e N=80%	
Capacidade Acústica (Nmáx)	45 pessoas
Capacidade Acústica (Nmáx) + 25%	57 pesssoas
Tr Ótimo ≤	0,81s

Fonte: os autores.

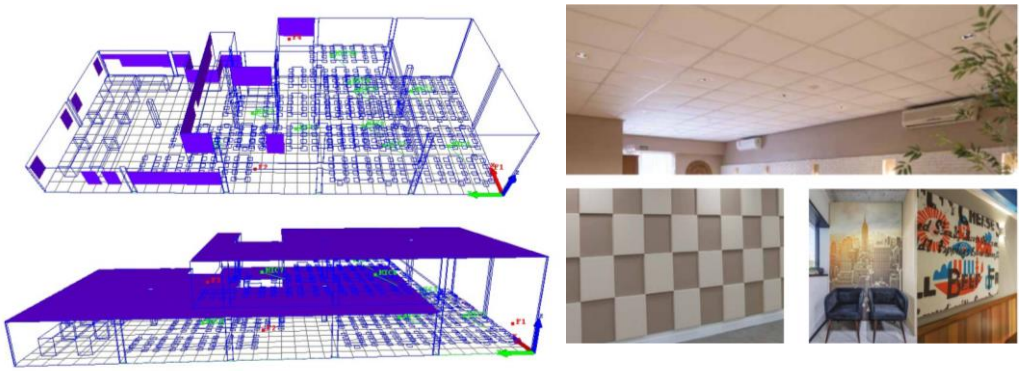
Face às inadequações acústicas observadas no cenário existente, este artigo apresenta uma proposta preliminar para adequação acústica, a fim de promover um ambiente mais confortável e saudável aos usuários, que será analisada a seguir.

ANÁLISE ACÚSTICA DO CENÁRIO HIPOTÉTICO

Adequação acústica envolveu a substituição do forro de PVC pelo forro branco (AE IR50), em lã de PET 100% reciclável, revestido com fibra de PET (branco fosco) auto extinguível, e painéis acústicos (*Revest Decor e Frame*), ambos os materiais da *TRISOFT®*, cujos dados técnicos foram obtidos do catálogo comercial (Figura 8).

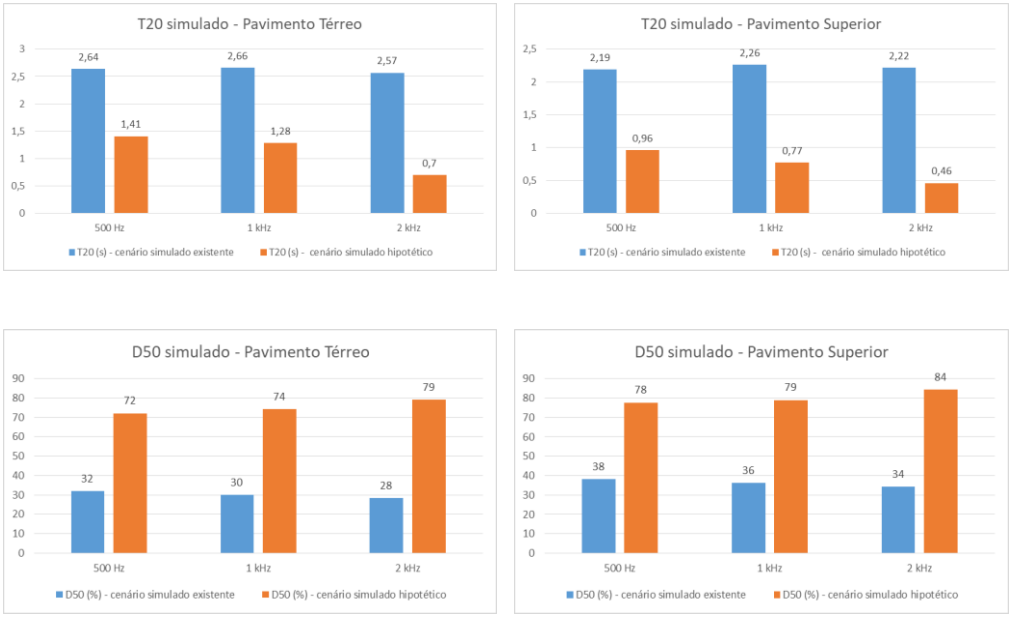
A Figura 9 mostra as médias espaciais dos valores simulados de T_{20} e D_{50} nas bandas de 500Hz, 1kHz e 2kHz nas combinações fonte-receptor de cada pavimento analisado. Com base na Figura 9, os valores de $T_{20(500Hz\text{-}1kHz)}$ e $T_{20(500Hz\text{-}1kHz\ -\ 2kHz)}$ calculados foram 1,35s/1,13s e 0,87s/0,73s para o térreo e superior, respectivamente. Esses resultados apontam melhorias no controle da reverberação, entretanto, apenas os valores do pavimento superior atendem a referência mais restritiva de T_{20}, adotada neste artigo. Quanto ao D_{50}, os seus valores nos cenários, existente e com adequação, passaram de 30% e 36% para 75% e 80% no térreo e superior, respectivamente, ou seja, *status* 'ruim' para 'bom' [14].

Figura 8: Modelo acústico-geométrico com superfícies para adequação acústica em roxo (à esquerda) e imagens do forro AE IR50 (acima, à direita) e painéis *Revest Frame* e *Revest Decor* (abaixo, à direita)



Fonte: Imagens à esquerda elaborada pelos autores, a partir do I-Simpa e imagens à direita disponíveis em: https://trisoft.com.br/concurso/catalogo-solucoes-acusticas-arquitetonicas.pdf, acesso em: 07/05/2024.

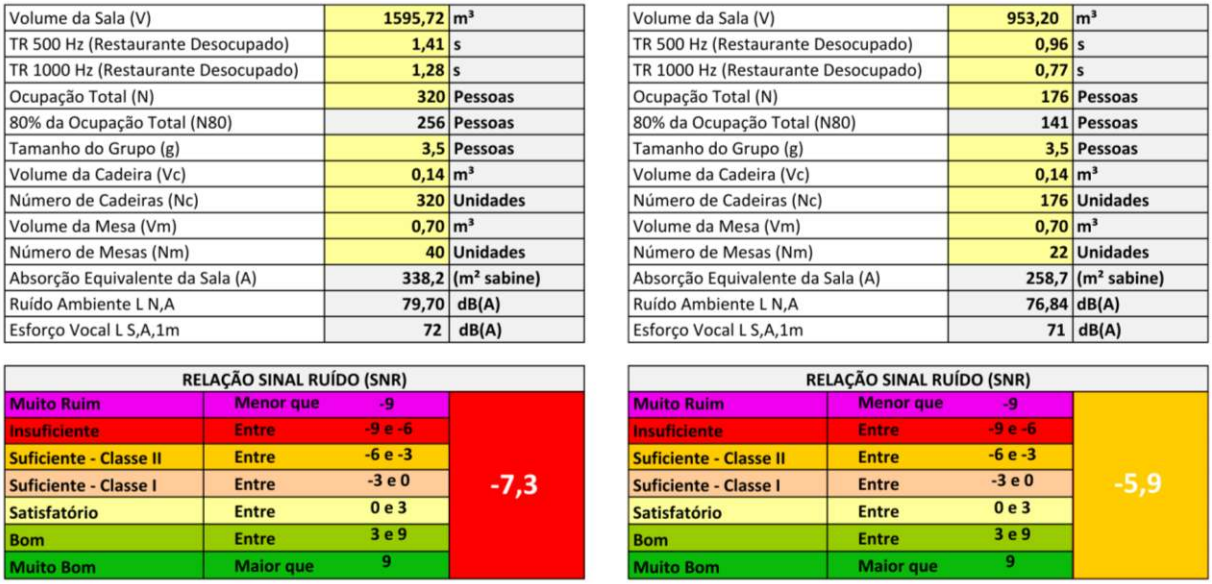
Figura 9: Valores de T_{20} simulados, cenário existente e hipotético com adequação: pavimento térreo (à esquerda) e pavimento superior (à direita)



Fonte: os autores.

A Figura 10 mostra a planilha para predição de esforço vocal para o cenário de adequação acústica. Conforme mencionado, a solução acústica adotada confere condição suficiente, no que se refere a predição do esforço vocal para o pavimento superior, demandando ainda análises futuras para adequação da área do térreo.

Figura 10: Predição de esforço vocal no cenário com adequação acústica do refeitório (RESUN-UFS): pavimento térreo (à esquerda) e pavimento superior (à direita)



Volume da Sala (V)	1595,72	m³
TR 500 Hz (Restaurante Desocupado)	1,41	s
TR 1000 Hz (Restaurante Desocupado)	1,28	s
Ocupação Total (N)	320	Pessoas
80% da Ocupação Total (N80)	256	Pessoas
Tamanho do Grupo (g)	3,5	Pessoas
Volume da Cadeira (Vc)	0,14	m³
Número de Cadeiras (Nc)	320	Unidades
Volume da Mesa (Vm)	0,70	m³
Número de Mesas (Nm)	40	Unidades
Absorção Equivalente da Sala (A)	338,2	(m² sabine)
Ruído Ambiente L N,A	79,70	dB(A)
Esforço Vocal L S,A,1m	72	dB(A)

RELAÇÃO SINAL RUÍDO (SNR)			
Muito Ruim	Menor que	-9	-7,3
Insuficiente	Entre	-9 e -6	
Suficiente - Classe II	Entre	-6 e -3	
Suficiente - Classe I	Entre	-3 e 0	
Satisfatório	Entre	0 e 3	
Bom	Entre	3 e 9	
Muito Bom	Maior que	9	

Volume da Sala (V)	953,20	m³
TR 500 Hz (Restaurante Desocupado)	0,96	s
TR 1000 Hz (Restaurante Desocupado)	0,77	s
Ocupação Total (N)	176	Pessoas
80% da Ocupação Total (N80)	141	Pessoas
Tamanho do Grupo (g)	3,5	Pessoas
Volume da Cadeira (Vc)	0,14	m³
Número de Cadeiras (Nc)	176	Unidades
Volume da Mesa (Vm)	0,70	m³
Número de Mesas (Nm)	22	Unidades
Absorção Equivalente da Sala (A)	258,7	(m² sabine)
Ruído Ambiente L N,A	76,84	dB(A)
Esforço Vocal L S,A,1m	71	dB(A)

RELAÇÃO SINAL RUÍDO (SNR)			
Muito Ruim	Menor que	-9	-5,9
Insuficiente	Entre	-9 e -6	
Suficiente - Classe II	Entre	-6 e -3	
Suficiente - Classe I	Entre	-3 e 0	
Satisfatório	Entre	0 e 3	
Bom	Entre	3 e 9	
Muito Bom	Maior que	9	

Fonte: os autores.

CONCLUSÕES

Esta pesquisa avaliou o desempenho acústico do RESUN-UFS. Os resultados demonstram a deficiência acústica existente no espaço avaliado. Observou-se que o TR encontrava-se acima do recomendado para esse tipo de ambiente, com base em [8][13]. Os valores de T_{20} e D_{50} simulados na situação existente indicam que, para maior inteligibilidade da fala em conversações no refeitório, as pessoas teriam que elevar o volume da voz, tornando a experiência desgastante no local.

Sendo assim, este artigo apresentou uma proposta de adequação acústica, com adição de materiais de absorção no forro e nas paredes, mostrando-se promissora para o controle da reverberação, redução do ruído e do esforço vocal, conferindo maior qualidade acústica, bem-estar e estética ao RESUN-UFS. Para trabalhos futuros, sugere-se a realização de simulações acústicas com aplicação de *baffles* ou nuvens acústicas, especialmente, para ampliação da absorção sonora no pavimento térreo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à COPES/POSGRAP/UFS pela bolsa remunerada de iniciação científica da primeira autora deste artigo, à Profª. Drª Tereza Raquel, Dep. de Fonoaudiologia da UFS – São Cristóvão/SE, pelo sonômetro e calibrador acústico cedidos, e ao Rodrigo Maia, técnico do Laboratório de Conforto Ambiental – LABCON/DAU/UFS, pelo apoio às coletas de dados.

REFERÊNCIAS

[1] BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle do ruído.** São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

[2] ROSSING, Thomas (Ed.). **Springer handbook of acoustics**. Springer Science & Business Media, 2007.

[3] BRANDÃO, Eric. **Acústica de salas**: projeto e modelagem. São Paulo: Blucher, 2016.

[4] CARVALHO, Régio Paniago. **Acústica arquitetônica**. 2ª edição. Brasília: Thesaurus, 2010.

[5] RINDEL, Jens Holger. **Acoustical capacity as a means of noise control in eating establishments**. Denmark, 2012.

[6] MOJOLLA, Roberto, et al. **Conforto acústico em um restaurante universitário.** XII Encontro nacional de Conforto no Ambiente Construído - XII ENCAC; VIII Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído - VIII ELACAC, 2013.

[7] NAVARRO, Manuelina Porto Nunes. **Conforto acústico em ambientes de praças de alimentação em shopping centers**. Dissertação de Mestrado, Centro de Tecnologia, UFPB, João Pessoa, 2004.

[8] RINDEL, Jens Holger. **Verbal communication and noise in eating establishments**. Applied Acoustics. 71, 1156-1161, 2010.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR ISO 3382-2.** Acústica - Medição de parâmetros de acústica de salas - parte 2: Tempo de reverberação em salas comuns, 2017.

[10] VÖRLANDER, Michael. **Auralization**: Fundamentals of acoustic, Modeling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality. 1. ed. Berlim, Alemanha: Springer, 2008.

[11] ANDRADE, Fernanda Horst. **Avaliação Acústica Dos Ambientes De Restauração Do Instituto Politécnico De Bragança – Campus De Santa Apolónia**. Escola Superior de Tecnologia e de Gestão Instituto Politécnico de Bragança, Bragança: 2020.

[12] ANSAY, Samuel; ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta. Using the parameters of definition, D_{50}, and reverberation time, RT, to investigate the acoustic quality of classrooms. **Canadian Acoustics**, v. 44, n. 4, p. 6-11, 2016.

[13] PORTUGAL. **Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (Decreto-Lei nº 96/2008, de 9 de Junho)**. Lisboa: Imprensa Nacional, 2008.

[14] LONG, Marshall. **Architectural acoustics**. 2ª edição. [s.l.]: Elsevier, 2014.

[15] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION**. ISO 9921.** Ergonomics - Assessment of speech communication: Ergonomie - Évaluation de la communication parlée. 2003.

[16] KINSLER, Lawrence E., et al. **Fundamentals of Acoustics**. Third Edition. USA, Wiley, 1982.