

DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EM PRAÇAS DE ALIMENTAÇÃO: COMPARAÇÃO ENTRE FORMULAÇÕES

Ana Clara de Oliveira Santiago (1); Lara Barrocas Soares Esmeraldo (2); Roberto Leal Pimentel (3)

(1) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, anaclarasantiago@yahoo.com.br

(2) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, larabse@gmail.com

(3) PhD, Professor, Departamento de Engenharia Civil, r.pimentel@uol.com.br

Universidade Federal da Paraíba, Campus Universitário, sn 58051-900 João Pessoa-PB, Tel: (83) 32167711

RESUMO

Neste trabalho realizou-se uma avaliação da adequação de expressão simplificada para a obtenção do nível de pressão sonora (NPS) em ambientes de praças de alimentação de shopping centers. Esta expressão considera o campo sonoro como sendo difuso e pondera-se se o campo sonoro neste tipo de ambiente aproxima-se desta condição, pelo fato de existir um grande número de oradores distribuídos pelo ambiente e falando ao mesmo tempo em direções diferentes. Foram feitos estudos iniciais em ambientes de teste sem a presença de pessoas e com apenas uma fonte sonora, onde foram comparados resultados de NPS obtidos através da expressão simplificada com resultados obtidos através de simulações utilizando o software de simulação acústica ODEON. Em seguida, o mesmo teste foi feito em ambiente de praça de alimentação de um shopping da região, só que desta vez com a presença de pessoas, o que tornou a simulação mais realista. Obtidos os resultados, chegou-se à conclusão de que a fórmula torna-se mais eficaz para avaliação do nível de pressão sonora na medida em que é reduzida a distância fonte-receptor.

Palavras-chave: acústica, praça de alimentação, nível de pressão sonora.

ABSTRACT

In this paper an evaluation was carried out of the use of a simplified expression to obtain the sound pressure level (SPL) in food courts of shopping centers. This expression considers the sound field as being diffuse and it is argued if the sound field in this type of ambient would come close to this condition due to the fact that there are too many sound sources (speakers) distributed in the ambient and speaking at the same time in different directions. Initial studies were conducted in a test ambient without the presence of people and just one sound source. The results of SPL obtained by applying the simplified expression were compared to those obtained from simulations using the acoustic software ODEON. In sequence, the same test was conducted in a food court of a shopping center of the region, at this time with the presence of people, which was a more realistic scenario. It was concluded that the simplified expression was more effective to evaluate the sound pressure level as the distance between sound source and receiver was reduced.

Keywords: acoustics, food courts, sound pressure level.

1. INTRODUÇÃO

Em diversos países, inclusive no Brasil, tem havido preocupação com o controle do nível de ruído na área da acústica arquitetônica, com o objetivo de reduzir ou controlar a presença de sons indesejáveis no interior das edificações. Desse modo, vários equipamentos urbanos têm sido objetos de estudos relacionados à acústica, inclusive os shopping centers.

Segundo Del Rio (1997), o Brasil é o quinto país do mundo no setor de shopping center, com 128 empreendimentos construídos desde 1966, verificando-se, a partir da década de 1990, uma média de quase

dez lançamentos de novos shopping por ano. De acordo com Kusakawa (2002), a tendência, nos centros urbanos, é a substituição das praças e do lazer ao ar livre pelos shopping centers, devido à segurança e à proteção que eles oferecem. Por outro lado, um levantamento realizado em praças de alimentação em alguns estados do nordeste do Brasil mostrou que a qualidade acústica destes ambientes é questionável, devido a um elevado nível de pressão sonora presente, que pode causar excessivo esforço vocal para comunicação e/ou desconforto aos usuários.

Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo aprofundar o estudo da acústica de praças de alimentação dos shopping centers, onde têm sido observados problemas do ponto de vista do conforto acústico, relacionados a excessivo nível de ruído.

Para isso, analisou-se a adequação do emprego de expressão simplificada para obtenção do nível de pressão sonora (NPS), sendo tal expressão de mais fácil uso por parte dos profissionais envolvidos nos projetos destes ambientes.

2. OBJETIVO

Neste artigo objetiva-se avaliar a adequação de expressão simplificada presente na literatura para obtenção do NPS em ambientes de praças de alimentação. Para isto, serão comparados os resultados de NPS obtidos através de cálculos utilizando a expressão em questão com resultados obtidos através de simulações utilizando o software de modelagem acústica Odeon.

3. MÉTODO

A seguinte metodologia foi adotada:

1. Definição de procedimento para obtenção dos níveis de pressão sonora, mediante o uso de expressão simplificada.

2. Criação de ambientes de geometria simples e uniforme do ponto de vista de distribuição de elementos absorventes, para utilização em testes iniciais, onde serão obtidos resultados de NPS tanto através da expressão simplificada quanto através do software de modelagem acústica Odeon, possibilitando desta forma a comparação entre os resultados.

3. Cálculo do NPS de uma praça de alimentação real através dos mesmos procedimentos utilizados nos testes anteriores.

3.1. Procedimentos utilizados para obtenção dos NPS

3.1.1. Através de expressão simplificada

Para se determinar o nível de pressão sonora (NPS) devido a uma fonte sonora em um ambiente, pode-se utilizar a seguinte expressão (Beranek, 1971):

$$N_p = N_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right) (\text{dBA}) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

N_w - nível de potência sonora (dBA referência 10^{-12} watts);

Q - fator de direcionalidade da fonte sonora;

r - distância da fonte sonora ao ouvinte, em metros;

A - área absorvente total do ambiente, em m^2 .

É importante ressaltar que o uso desta expressão pressupõe que o campo sonoro do ambiente seja difuso, daí o caráter simplificado da expressão, já que haveriam condições especiais em um ambiente para que tal condição fosse atendida.

Nesta expressão, o N_w está relacionado à fonte sonora, que em ambientes como as praças de alimentação de shopping centers, são aqui consideradas como devido a pessoas falando. Desta forma, o nível

de potência sonora (N_w) utilizado deve estar relacionado à voz humana. Este valor varia em função da frequência.

Foram empregados nas análises níveis de potência sonora correspondentes à intensidade de voz normal. Os valores de N_w foram calculados, por banda de oitava, a partir de valores de pressão sonora N_p medidos por Pearsons et al. (1977), utilizando-se a seguinte expressão (Beranek, 1971):

$$N_p = N_w + 10 \log Q - 20 \log r - 11 \quad (\text{dBA}) \quad \text{Equação 2}$$

Na equação acima, a distância r (entre fonte e ponto de avaliação do N_p nestes cálculos) foi tomada igual a 1,0 m e o fator de direcionalidade Q igual a 2, pois as medições de nível de pressão sonora N_p realizadas por Pearsons et al. (1977) ocorreram a 1,0 m de distância do orador e em frente ao mesmo. Os valores de N_p determinados por Pearsons et al. (1977) e os respectivos valores de N_w calculados usando a Eq. 2 estão apresentados na Tabela 1. Por outro lado, cabe enfatizar que nos cálculos utilizando a Eq. 1, o fator de direcionalidade Q foi adotado como sendo igual a 1, conforme será discutido adiante.

Tabela 1 – Nível de potência sonora da voz com intensidade normal.

Nível de voz	Np e Nw da voz (dBA)	Banda de oitava (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
Voz normal	N_p	46.5	53.8	56.2	49.9	45.7	43.2
	N_w	54.5	61.8	64.2	57.9	53.7	51.2

O termo $\frac{Q}{4\pi r^2}$ representa na expressão o campo sonoro direto existente no ponto de avaliação do

NPS, que é função da distância orador-ouvinte. Desta forma, quanto mais próxima da fonte for feita a medição, maior será a contribuição deste termo na determinação do nível de pressão sonora.

Por fim, o termo $\frac{4}{A}$ representa o campo sonoro reverberante existente. À medida que se aumenta a distância orador-ouvinte, haverá a diminuição do valor correspondente ao campo sonoro direto, até chegar-se ao ponto em que tal parcela será praticamente nula, prevalecendo apenas a contribuição do campo sonoro reverberante. Além da frequência, outro fator que influencia o valor deste termo é a quantidade de área absorvente existente no local, a qual irá variar consideravelmente à medida que se altera o número de pessoas presentes no ambiente.

Devido à variação dos valores de nível de potência sonora e coeficiente de absorção dos materiais de revestimento com a frequência, os cálculos para determinação do NPS são feitos por banda de oitava e em seguida são adicionados logaritmicamente para obtenção do NPS total.

3.1.2. Através do software de simulação acústica Odeon

O Odeon é um software (comercial) de simulação acústica que permite determinar o campo acústico e vários parâmetros acústicos de um ambiente. Na versão disponível, as fontes sonoras possíveis são pontuais (no caso, cada fonte sonora representa um orador). No que diz respeito à definição das características da fonte sonora, no software há uma biblioteca de fontes sonoras, incluindo-se valores para a voz humana. Entretanto, foi acrescentada e adotada nas análises uma fonte sonora com os mesmos valores de potência sonora e direcionalidade (fonte omnidirecional) adotados nos cálculos com a expressão simplificada, já que o objetivo é realizar uma comparação entre as avaliações obtidas por ambas as formulações.

Além da definição das características das fontes sonoras e sua localização no ambiente, dados de entrada sobre a geometria do ambiente e características acústicas das superfícies do mesmo (coeficientes de absorção e difusão) devem ser informados. A geometria do ambiente pode ser construída dentro do próprio software mediante entrada gráfica ou ser importada de outros aplicativos (ex. Autocad). Assim é possível definir com certo nível de detalhamento a presença de elementos tais como mesas e cadeiras (representadas por blocos tridimensionais), letreiros, painéis etc. Desta maneira, foram introduzidas para processamento no software as mesmas superfícies utilizadas no cálculo com a expressão simplificada, com seus respectivos coeficientes de absorção. Para os coeficientes de difusão (que não constaram no cálculo com a expressão

simplificada), foram utilizados valores sugeridos pelo próprio manual do software, em função do tipo de superfície.

Um ponto a chamar a atenção diz respeito à introdução, no modelo desenvolvido no software, da absorção devido às pessoas. Enquanto no cálculo com a expressão simplificada um valor equivalente de área absorvente por pessoa foi adotado, no software, a área absorvente das pessoas por mesa (usuários de uma mesma mesa), foi adicionada à área absorvente da respectiva mesa e cadeiras, sendo em seguida dividida pela área física de um bloco tridimensional com as dimensões do conjunto mesa mais cadeiras, de modo a constituir um coeficiente de absorção para a superfície de tais blocos.

No software Odeon, o cálculo de parâmetros acústicos (por ex., o nível de pressão sonora em dado ponto) devido a fontes pontuais é obtido utilizando um método de cálculo híbrido, no qual as primeiras reflexões são determinadas usando uma combinação de dois modelos de propagação (“image source” e “ray tracing”) e as demais reflexões são obtidas utilizando o modelo “ray tracing”, a partir da geração de fontes secundárias que irradiam das superfícies das paredes (Odeon, 2007). Em mais detalhes, um dado número de raios (há quantidade definida pelo software, em função da complexidade do ambiente) é emitido de cada fonte em todas as direções, atingindo as superfícies do ambiente. Estes pontos atingidos pelos primeiros raios serão os pontos adotados como fontes secundárias. Sobre os critérios de parada da análise, há como critérios um número máximo de reflexões e/ou quanto tempo ao longo de curva de decaimento deve ser utilizada nos cálculos, sendo este último, como sugestão, relacionado ao tempo de reverberação do ambiente.

3.2. Criação de ambientes para testes

Com a finalidade de verificar a adequação da expressão em questão (Eq. 1) aos ambientes de praça de alimentação, concebeu-se inicialmente ambientes de testes, onde foram obtidos valores de NPS aplicando-se a Eq. 1 e a partir do programa de simulação acústica Odeon, possibilitando uma posterior comparação entre estes resultados. Isto visou dar uma noção inicial da aplicabilidade da expressão.

3.2.1. Teste inicial em ambiente simples

Inicialmente, criou-se um ambiente simples, com forma retangular e de dimensões aproximadas às de uma praça de alimentação anteriormente estudada: 19,0 m x 34,0 m x 3,0 m (ver Fig. 2). Considerou-se que todas as paredes eram de um mesmo material, com coeficiente de absorção acústica (α) de 0,2. Isto resultou em uma área absorvente total de 322 m². Com relação à textura das paredes, foram consideradas lisas, com baixo coeficiente de difusão. Objetivou-se inicialmente verificar similaridades ou diferenças entre ambos os resultados obtidos de NPS para um ambiente geometricamente mais simples.

Os cálculos foram estendidos para diferentes distâncias fonte-receptor. Ressalte-se que os cálculos para obtenção do NPS foram feitos para cada banda de oitava para, em seguida, obter o nível de pressão sonora total em cada ponto analisado.

Por fim, foi feito o cálculo do raio de reverberação (RR), entendido como a distância a partir da fonte onde os campos sonoros direto e reverberante têm mesma intensidade, objetivando-se verificar se a proximidade ou não entre os resultados teria relação com este parâmetro.

3.2.2. Teste simplificado em praça de alimentação existente

Dando seqüência ao experimento inicial, foram repetidos os testes, substituindo apenas o ambiente retangular e uniforme do ponto de vista de absorção e difusão dos materiais de revestimento, por uma praça de alimentação (Fig 1). A praça possui dimensões de aproximadamente 26,00 m x 39,37 m em planta por 3,00 m de altura. Esta praça foi objeto de investigações anteriores (Navarro e Pimentel, 2007), para a qual se possui detalhes de suas características geométricas e de materiais de revestimento. Foi então criado o modelo da praça no programa Odeon sem, entretanto, a inclusão de pessoas. O volume total da praça foi de 3133,16 m³. Uma área absorvente total (sem usuários) de 418,96 m² foi calculada a partir das características absorventes das superfícies do ambiente.

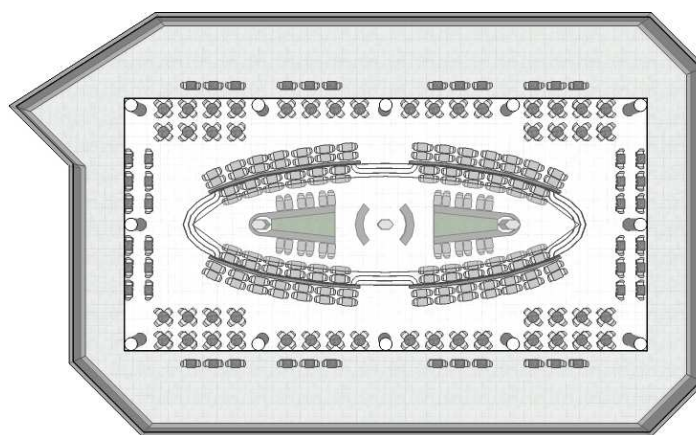


Figura 1 – Planta baixa da praça de alimentação.

3.3. Cálculo do NPS de uma praça de alimentação com vários usuários

Com os testes iniciais concluídos, pôde-se acrescentar ao estudo uma nova etapa em que foi feita uma simulação na mesma praça de alimentação, só que desta vez utilizou-se um cenário realista com a presença de pessoas, parte delas sendo oradores. Com esta nova etapa pretende-se averiguar se a expressão simplificada em questão é eficaz em um ambiente de praça de alimentação com oradores espalhados por toda parte falando em diferentes direções, levando-se em conta a potencial similaridade deste campo sonoro com um campo sonoro difuso. Neste caso, para estimativa do NPS total, aplicou-se a Eq. 1 para cada fonte sonora (orador), adicionando-se logaritmicamente a contribuição de cada fonte. No que diz respeito à área absorvente, esta cresceu em relação ao valor anteriormente mencionado, devido à presença dos usuários. Para a quantidade de usuários considerada (382 pessoas), a área absorvente total passou a ser de 578,98 m².

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Testes em ambiente simples

Neste primeiro teste, realizado em ambiente simples, foi possível fazer uma primeira comparação entre os resultados obtidos com a Eq. (1) e os obtidos através do programa Odeon.

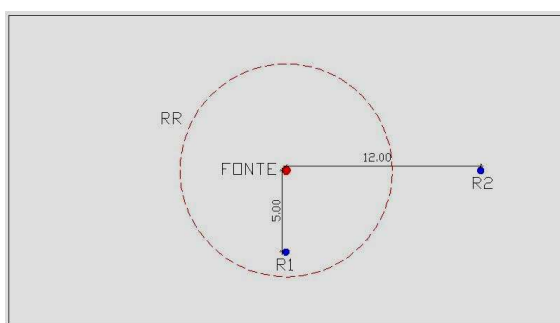


Figura 2 – Planta baixa do ambiente simplificado e pontos de avaliação de NPS.

Foi colocada uma fonte sonora no centro do ambiente e com altura de 1,0 m, e dois receptores R1 (com uma distância de 5,0 m da fonte) e R2 (com uma distância de 12,0 m da fonte), também com altura de 1,0 m.

Apenas o receptor R1 está localizado dentro do raio de reverberação, o que indica que o resultado de NPS obtido através dele terá uma maior influência do campo sonoro direto.

Nesta simulação, bem como nas seguintes, a fonte sonora foi considerada como omnidirecional. Os resultados obtidos para o NPS estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados de NPS para os pontos indicados.

Receptores	Resultados Eq. 1 (dBA)	Resultados Odeon (dBA)
R1	49,2	49,4
R2	48,3	46,5

Verificou-se então que o NPS obtido no receptor R1 do Odeon estava consistente com o resultado analítico, mas o do receptor R2 não.

Isto estaria acontecendo devido ao fato do receptor R1 estar mais próximo da fonte sonora tendo sido então o seu resultado influenciado principalmente pelo campo sonoro direto, enquanto o receptor R2, por estar a uma distância maior, teve o seu resultado influenciado predominantemente pelo campo sonoro reverberante, que por sua vez é mais influenciado pela condição de difusão pressuposta na expressão simplificada (Eq. 1). Há, pois, evidências que à medida que se aumenta a distância fonte-receptor, mais impreciso estará o resultado obtido através da expressão simplificada.

A partir deste resultado inicial, deu-se seqüência ao experimento de forma a verificar o quanto aumentará a divergência nos resultados em função da distância fonte-receptor.

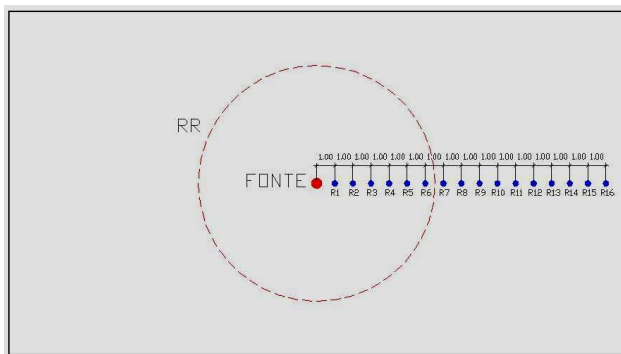


Figura 3 – Planta baixa do mesmo ambiente, desta vez com 16 pontos de avaliação de NPS.

Foram então colocados no ambiente de teste dezesseis receptores alinhados e com 1,0 m de distância entre um e outro, todos também com 1,0 m de altura.

Utilizando o mesmo volume com dimensões 19,0 m x 34,0 m x 3,0 m, foram feitas avaliações de NPS nos dezesseis pontos, dos quais seis estão localizados dentro do raio de reverberação (Fig. 3).

Foram feitos novamente os cálculos para obtenção do NPS utilizando o software Odeon e a expressão simplificada. Obtidos os resultados, nota-se que, em consonância com os resultados anteriormente obtidos, à medida que se aumenta a distância fonte-receptor, maior é a diferença entre os resultados (Fig. 4).

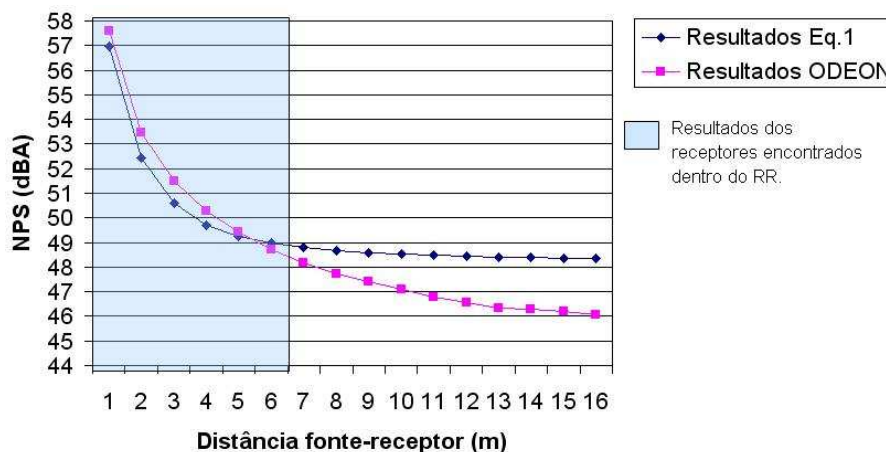
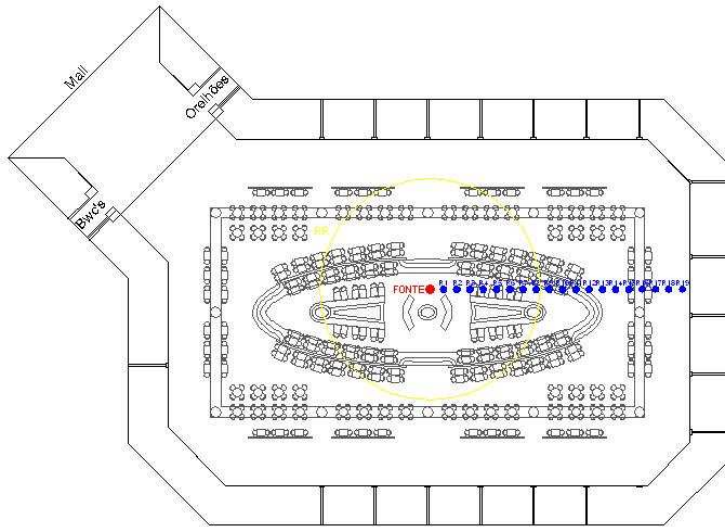


Figura 4 – Comparação entre valores de NPS obtidos através da fórmula analítica e do software Odeon.

No gráfico, pode-se observar que a diferença entre os resultados do Odeon e os obtidos pela expressão simplificada passam a ser mais expressivos nos receptores que estão localizados fora do raio de reverberação, onde a influência do campo sonoro reverberante predomina. Ainda assim, a diferença ficou limitada a cerca de 2 dBA.

4.2. Teste simplificado em praça de alimentação existente

Nesta etapa, como já foi dito, utilizou-se para os testes um ambiente de praça de alimentação (Fig. 5).



Colocou-se novamente uma fonte sonora em posição próxima ao centro e dezenove receptores alinhados também com a distância de 1,0 m entre um e outro. Considerou-se ainda, tanto nos cálculos com a Eq. (1) quanto no Odeon, os materiais efetivamente existentes na praça de alimentação, com seus respectivos coeficientes de absorção acústica.

Em seguida foi feito o cálculo do raio de reverberação, observando que apenas os oito receptores mais próximos da fonte sonora estão localizados dentro deste raio.

Figura 5 – Planta baixa da praça de alimentação com 19 pontos de avaliação de NPS.

Após a obtenção dos resultados (Fig. 6) e feito o cálculo do RR (para 500 Hz), pôde-se chegar à mesma conclusão anterior de que os resultados obtidos por intermédio da expressão simplificada se aproximam dos resultados da simulação acústica realizada no Odeon apenas para os receptores localizados dentro do raio de reverberação. A diferença na região do campo reverberante, agora em até cerca de 5 dBA, possivelmente ocorre devido à distribuição mais irregular de elementos absorventes e reflexivos no ambiente.

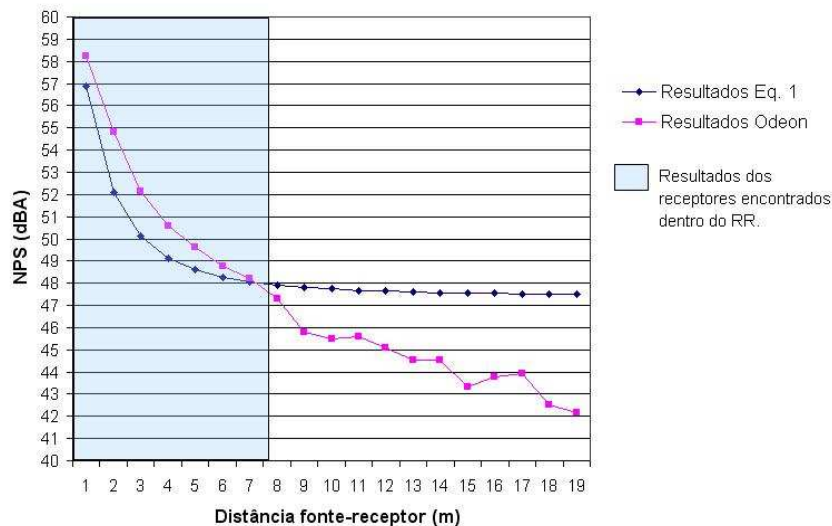


Figura 6 – Comparação entre valores de NPS obtidos através da fórmula analítica e do software Odeon.

4.3. Teste em praça de alimentação

Para este teste final, foram incluídas na praça de alimentação 382 pessoas distribuídas de forma aleatória pelas mesas (Fig.7). Considerou-se que, em cada uma delas, há um orador falando em voz normal.

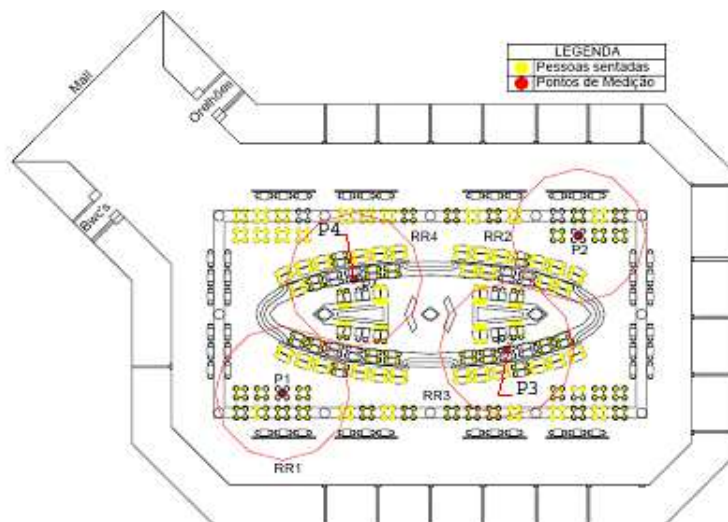


Figura 7 – Planta baixa da praça de alimentação com 382 pessoas. Fonte: (Navarro, 2004).

Entre estas 382 pessoas 96 foram considerados oradores.

Foram colocados 4 receptores (P1, P2, P3 e P4) em pontos específicos.

Para a simulação no Odeon, considerou-se uma altura de 1,0 m (altura aproximada da boca do orador) tanto para as fontes sonoras, quanto para os 4 receptores. Todas as fontes foram consideradas omnidirecionais. Com relação a este último aspecto, sabe-se da não direcionalidade da voz. Entretanto, como os oradores estão direcionados aleatoriamente no ambiente, a condição de omnidirecionalidade para o campo acústico total aparenta ser a melhor representação.

Concluídas as avaliações, foi possível a comparação entre os resultados (Tabela 3). Pode-se notar uma diferença que não chega a 3 dBA, sendo em torno de 2 dBA em alguns pontos. Cabe observar que, ao comparar-se os resultados desta Tabela com os da Fig. 6, percebe-se que agora ocorreu uma diminuição relativa entre a diferença do NPS obtido pela expressão simplificada e o respectivo valor obtido pela simulação numérica, o que possivelmente é devido ao espalhamento das fontes sonoras pelo ambiente, com conseqüente benefício para a difusão sonora.

Tabela 3 - Resultados de NPS para os 4 receptores.

Receptores	Resultados Analíticos (dBA)	Resultados Odeon (dBA)
P1	67,1	64,3
P2	67,0	64,3
P3	67,3	65,5
P4	67,3	65,4

5. CONCLUSÕES

Foram feitas comparações entre níveis de pressão sonora (NPS) obtidos através de expressão simplificada com os obtidos através do software de simulação acústica ODEON, possibilitando desta forma verificar se esta expressão simples é adequada para obtenção do nível de pressão sonora em ambientes de praças de alimentação de shopping centers, já que ela considera o campo sonoro como sendo difuso e há elementos que indicariam a possibilidade do campo sonoro neste tipo de ambiente aproximar-se desta condição.

Foram feitos testes em ambiente criado e também em um ambiente real de praça de alimentação de um shopping center. Através dos resultados, concluiu-se que a precisão do uso da expressão simplificada diminui à medida que a distância fonte-receptor aumenta. Isto acontece porque o campo sonoro reverberante existente no ambiente prevalecerá cada vez mais à medida que esta distância aumente, sendo mais influenciado pela hipótese de campo difuso considerada na expressão simplificada.

A diferença entre os resultados observada nas simulações realizadas, de aproximadamente 2 a 3 dBA, não é elevada, o que possibilitaria o emprego da expressão simplificada.

6. REFERÊNCIAS

- BERANEK, L. L. **Noise and vibration control**. USA: McGraw- Hill, 1971.
- DEL RIO, V. **Considerações sobre o desenho da cidade moderna**. In: Congresso ANPUR, 1997, Recife. Anais do Congresso ANPUR. Recife, 1997, p.704.
- KUSAKAWA, M. S. **Arquitetura de shopping centers – análise do conforto acústico: estudo de caso – Shopping Avenida Center de Maringá – PR**. 2002. Dissertação (Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil – Departamento de Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002, 94 f.
- NAVARRO, Manuelina Porto Nunes. **Conforto acústico em ambientes de praças de alimentação em shopping centers**, 2004. Dissertação (Programa de Pós- Graduação em Engenharia Urbana) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2004, 108 f.
- NAVARRO, M.P.N. & PIMENTEL, R. L. **Speech Interference in Food Courts of Shopping Centers**. Applied Acoustics, V. 68, n. 3, 2007.
- ODEON Room Acoustics Program, Version 9.0 – User manual, 2007.
- PEARSONS, K.S., BENNETT, R.L., FIDELL, S. **Speech levels in various noise environments**. Washington, U.S. Environmental Protection Agency, 1977.