



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UniCEUB

PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

CHRISRANY BIANCA MACIEL LEITE

LETÍCIA DE PAULA LUCENA MOTA

A EFICÁCIA DOS JARDINS VERTICAIS NA ATENUAÇÃO DO RUÍDO URBANO

BRASÍLIA

2020



CHRISRANY BIANCA MACIEL LEITE

LETÍCIA DE PAULA LUCENA MOTA

A EFICÁCIA DOS JARDINS VERTICAIS NA ATENUAÇÃO DO RUÍDO URBANO

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica
apresentada à Assessoria de Pós-Graduação e
Pesquisa.

Orientação: Sérgio Luiz Garavelli

BRASÍLIA

2020

AGRADECIMENTO

Gostaríamos, primeiramente, agradecer a Deus. Por nos dar saúde e forças para vencer todos os obstáculos.

Agradecer aos nossos familiares por nos apoiarem e permitirem a construção da nossa jornada no conhecimento.

Agradecer ao nosso brilhante orientador, Sérgio Garavelli, por aceitar nos orientar nessa jornada, e por se mostrar sempre disponível, com muita dedicação e comprometimento em nos desenvolver.

Queríamos dedicar nossos agradecimento também, ao UniCEUB e à Assessoria de Pós-Graduação e Pesquisa, por ajudar em cada fase do projeto e não medir esforços em amparar seus pesquisadores.

E por fim, gostaríamos de agradecer ao professor Armando Maroja, por contribuir no desenvolvimento da metodologia, nos auxiliar nas construções dos resultados mediante as simulações do SoundPLAN®.

RESUMO

Estudos científicos indicam um aumento significativo, nas últimas décadas, da poluição sonora nos centros urbanos, o que é uma questão preocupante para a saúde e bem estar da população. Conseqüentemente, houve o aumento de buscas de soluções, com o propósito de conferir uma melhor qualidade de vida por meio do controle da poluição sonora. Os jardins verticais têm ganhado grande espaço na melhoria do clima urbano atenuando a temperatura e controlando a umidade relativa do ar. Porém os efeitos relacionados a atenuação do ruído urbano ainda são incipientes, principalmente no Brasil. A utilização de jardins verticais garante um isolamento térmico, diminuindo os efeitos das ilhas de calor, conferem redução dos gastos com energia elétrica, aumentam a área verde, aproveitam espaços e trazem um novo conceito de estética sustentável. Este estudo teve como objetivo avaliar o impacto na paisagem sonora com a implantação de jardins verticais, em ruas formadas por cânions, também conhecidas como ruas “U”, foram estudados os níveis de pressão sonora, devido ao tráfego rodoviário, que atinge a fachada dos edifícios em diferentes alturas. A região selecionada para o estudo foi a cidade de Águas Claras-DF. Foram realizadas simulações utilizando dois diferentes métodos: o primeiro utilizando um modelo simplificado para a reverberação urbana, o outro por meio do software SoundPlan. Para os dados de entrada, necessários para as simulações, foram utilizados os dados referente a 1,5 anos dos controladores eletrônicos de velocidade, do DETRAN-DF. Os dois métodos indicaram que a implantação dos jardins verticais em ruas em U, provocam atenuações significativas na propagação dos ruídos. No modelo simplificado constatou-se uma atenuação do ruído urbano, em média, de 0,8 dB, por outro lado, no SoundPLAN houve uma atenuação média, de 1,8 dB. Por conseguinte, verificou-se que ambas modelagens, tanto o modelo quanto o software, indicaram bons resultados na utilização dos jardins verticais. Concluindo-se, desta maneira, a possibilidade da adoção de jardins verticais para a atenuação da reverberação dos ruídos em centros urbanos.

Palavras-chave: Poluição Sonora. Jardins Verticais. Águas Claras.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	7
3. METODOLOGIA.....	10
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
7. REFERÊNCIAS	32

1. INTRODUÇÃO

Ultimamente há uma considerável preocupação em relação ao desconforto ambiental causado nas cidades. Este fato está sendo bastante discutido principalmente no quesito de como depreciar tal desconforto. Um dos itens extremamente importantes deste debate é a poluição sonora, pois o efeito deste tem aumentado a cada dia.

Pode-se dizer que a origem de grande parte dos ruídos nas cidades advém dos transportes, sejam eles rodoviários, ferroviários e até mesmo aéreos. Tal problema não é tão atual, mas vem ganhando maior força nos últimos anos, pelo fato de que com o aumento da população, há também o aumento de fluxos nas vias das cidades, como podemos citar como exemplo a cidade de Águas Claras-DF.

A cidade de Águas Claras (**Erro! Fonte de referência não encontrada..1**), foi pensada para se desenvolver ao longo da linha do metrô. E assim como dito, houve um crescimento considerável nos últimos anos, o que levou à um aumento na poluição ambientes, destacando-se a poluição sonora. Levando em consideração os prédios próximos à linha do metrô, há o surgimento de ruídos gerado pela operação do metrô, o que perturba uma boa parcela da população, principalmente nos períodos de tarde e noite. Para que venha a ser possível a melhoria deste quesito, deve-se dar uma atenção especial aos estudos desta área. Outro fator importante são as distâncias entre as vias de alto tráfego rodoviário e as edificações, o que ocorre principalmente às margens das duas grandes avenidas da cidade, a Avenida Araucárias e Castanheiras.

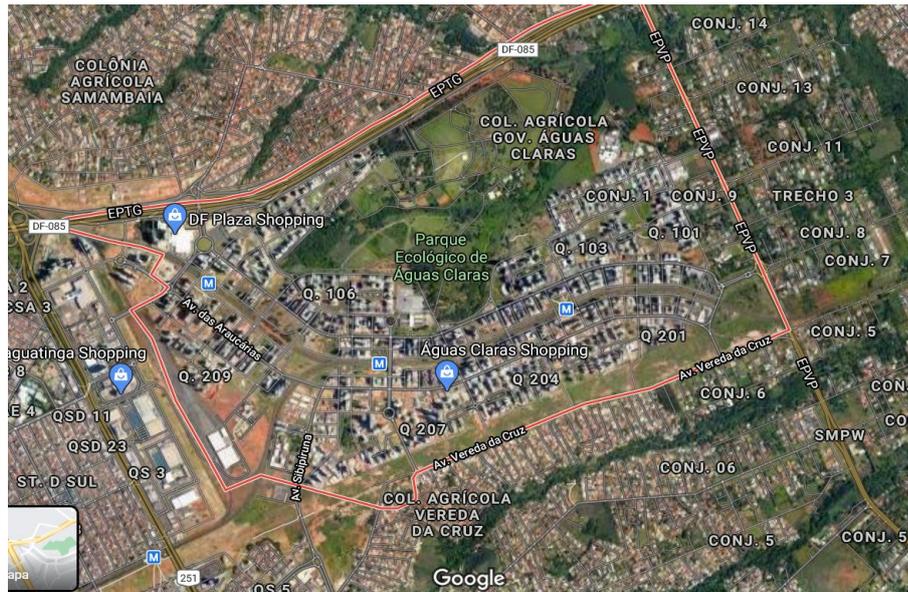


Figura 1.1 – Área de estudo: mapa da cidade de Águas Claras (Fonte: Google Maps, 2020)

Como forma de suavizar o ruído, os jardins verticais têm se apresentado como uma alternativa no auxílio dessa melhoria na qualidade de vida nas cidades. Se bem estudadas, estas podem ser grandes alternativas no controle da poluição sonora, proporcionando conforto aos cidadãos. O que além de melhorar o som desconfortável, podem ser vistos como elemento integrante da paisagem urbana.

O objetivo da presente pesquisa é expor se, com a utilização destes jardins em prédios localizados em ruas em formato “U” de Águas Claras, é reduzido o ruído provocado de forma eficaz e significativa, amenizando ou não o desconforto da população ali residente.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Efeitos Nocivos do ruído

A poluição sonora é caracterizada por ser a demasia de ruídos que vem a afetar a saúde mental e física da população. Os níveis de pressão sonora estabelecidos pela NBR 10151 como aceitáveis são raramente obedecidos, sendo considerado então como crime ambiental, que pode vir a resultar em multa ou até mesmo reclusão de 1 a 4 anos. Pode-se considerar que um som que ultrapasse 50 decibéis é ofensivo à saúde.

De acordo com a OMS, a poluição sonora é considerada a terceira poluição que mais afeta o meio ambiente, perdendo apenas para a poluição do ar e da água, sendo assim, alguns pesquisadores já consideram esta uma das formas mais nocivas à saúde humana. Um

dos sons mais comuns que trazem danos à nossa saúde são os provenientes dos transportes urbanos, que será o retratado neste.

Esta é uma questão que vem sendo muito discutida nos últimos tempos, levando também ao surgimento de legislações que venham a preservar a população. Segundo a APA (2011), cerca de 40% das pessoas estão sujeitas a níveis de decibéis acima dos recomendados, sendo assim, é necessário que haja uma atenção especial de autoridades para que este tipo de tribulação não seja recorrente.

2.2 Teoria aplicada ao Jardim Vertical

Os jardins verticais, também conhecidos como parede verde, foi inicialmente uma operação paisagística criada para cobrir paredes externas ou internas de prédios de vegetações, tornando assim, as construções pouco menos agressivas ao meio ambiente.

Com o passar do tempo, notou-se que o uso da vegetação trouxe muitos benefícios à quem a utilizava, servindo como isolamento térmico, reduzindo os gastos energéticos, diminuindo os raios solares, gerando sombreamento, purificando o ar e também moderando ruídos externos, que será o tema aqui abordado.

No rumo de buscar novas soluções para problemas ambientais, surgiu então a ideia da implementação de jardins verticais, isto, pois além de vários outros benefícios, estes absorvem e isolam ruídos externos, sendo assim, investigações e pesquisas crescem ainda mais no decorrer do tempo, sejam através de simulações em escala ou até mesmo através de softwares especializados.

A cidade de Águas Claras possui apenas 22 anos e tem cerca de 150 mil habitantes, sendo uma das cidades de maior fluxo rodoviário. Estudos anteriormente realizados pelo grupo de pesquisa (Garavelli et al., 2016; Ali et al., 2017), foi evidenciado que o ruído ambiental produzido pelo metrô chega nas fachadas de edifícios durante a passagem atingindo NPS acima de 70 dB(A).

Através de mapas acústicos, foi então feita uma avaliação dos níveis de fluxos devido ao tráfego rodoviário e logo após, feitas simulações através de um software chamado SoundPlan, com a implementação de jardins verticais nos locais disponíveis nas fachadas dos prédios em regiões com maiores impactos sonoros.

A proposta inicial deste tem como principal objetivo avaliar a eficácia dos jardins verticais na atenuação do ruído urbano.

2.3 Tipos de Jardins Verticais

São quatro os tipos de jardins verticais que se adequam á ambientes diferentes, são eles o jardim natural, o jardim preservado, o jardim artificial, e o de Musgo Moss, sendo apenas os dois primeiros possíveis de aplicar em áreas externas.



Figura 2.1 – Jardins Verticais tipo Natural (Fonte: Google Imagens, 2020)



Figura 2.2 – Jardins Verticais tipo Preservado (Fonte: Google Imagens, 2020)

Para que tenhamos um bom desempenho quando tratamos das paredes verdes na acústica, devem-se saber exatamente quais são os tipos deste que levam a ter um bom resultado. Apesar de todos ajudarem na melhoria da atenuação do ruído, apenas o natural e o preservado podem ser utilizados em áreas externas.

Os tipos e formatos dos jardins, embora não tão variados, possuem o desempenho acústico desejado. Além de levar em conta a estética e a identidade do local, as paredes verdes trazem muito conforto, baixo custo de manutenção, e a melhoria na atenuação sonora.

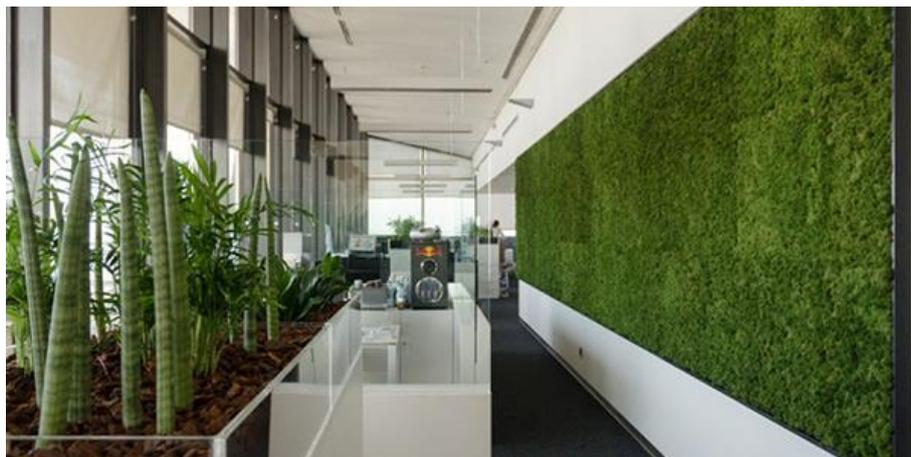


Figura 2.3 – Jardins Verticais tipo Musgo Moss (Fonte: Google Imagens, 2020)



Figura 2.4 – Jardins Verticais tipo Artificial (Fonte: Google Imagens, 2020)

3. METODOLOGIA

Optou-se, neste estudo, pela utilização do modelo matemático do algoritmo da RLS-90 (alemão) juntamente com a elaboração de simulações e modelações de mapas acústicos (SoundPlan) com o objetivo de averiguar a eficácia dos jardins verticais na diminuição do ruído sonoro provocado pelo tráfego rodoviário em Águas Claras, e comparar simultaneamente, qual metodologia apresentou maior eficiência.

Inicialmente, determinou-se o local de estudo em uma rua em formato de cânions em Águas Claras ilustrado na figura 3.1, para averiguar o nível de pressão sonora que chega à fachada dos edifícios mediante o tráfego rodoviário, analisar o efeito de reverberação do som nas ruas em formato “U” e investigar o efeito do revestimento na fachada com jardins verticais na diminuição da poluição sonora.



Figura 3.1 – Local de estudo (Fonte: Google Maps, 2020)

Uma vez escolhido o local de estudo, para analisar o comportamento do tráfego rodoviário na cidade de Águas Claras, foram utilizados dados fornecidos pelo Banco de Dados do DENTRAN-DF. Este contém dados dos controladores eletrônicos de velocidade (CEV), referentes a um período de 24 horas por dia durante 16 meses, os quais viabilizaram informações a respeito da velocidade média, do fluxo veicular e da composição dos veículos. Com os dados em mãos, realizou-se a média referente aos 16 meses da velocidade dos veículos e, ao mesmo tempo, a média relacionada ao fluxo de motos, veículos leves e pesados, e a média do fluxo total veicular.

A partir dos dados providos, iniciou-se o desenvolvimento do modelo matemático o qual teve como protótipo a norma alemã RLS-90, responsável por produzir o nível de pressão sonora (NPS) gerado pelo fluxo rodoviária à 25 metros do ponto central da via e à 4 metros de altura do nível da pista, considerando que o fluxo veicular ocorre no centro da pista e este produz uma fonte de ruído linear. Para fins de cálculo da pressão sonora, fez-se apropriação da fórmula abaixo do modelo alemão:

$$L_{m,E} = L_{m(25)} + D_v + D_{strO} + D_{stg} + D_E \text{ (equação 1.1)}$$

Em que:

$L_{m,E}$ é o nível equivalente médio de emissão, em dB(A),

$L_{m(25)}$ é o nível equivalente a 25m do centro da pista, em dB(A),

D_v é a correção devido à velocidade,

D_{str0} é a correção devido à superfície da rodovia,

D_{stg} é a correção devido ao gradiente (aclive ou declive),

D_E é a correção devido à absorção das superfícies dos edifícios.

Tendo em vista, que a rua escolhida para a efetuação do estudo possui um asfalto liso, e apresenta uma pista plana e retilínea, os valores de correção de D_{str0} e D_{stg} são nulos de acordo com norma. Nesse estudo, não operamos a análise da absorção das superfícies dos edifícios mediante ao modelo alemão, levando em consideração, que este padronizaria a absorção dos edifícios e, conseqüentemente, não averiguaria cada caso de absorção no seu estado particular. Dando importância, a este fator, calculamos a absorção mediante a amplificação sonora, a qual ainda será mencionada nesse setor. Portanto, para o operação do nível de pressão sonora foi apenas empregado os fatores pertinentes ao nível equivalente a 25m da pista e a correção devido a velocidade.

Para a iniciação da determinação do nível de pressão, fez-se aplicação dos dados de fluxo fornecidos pelo banco de dados e, conjuntamente, efetuamos o cálculo da percentagem dos veículos pesados. No caso do nosso estudo, percebeu-se que atualmente as motos, em sua grande maioria, possuem escapamento aberto e o ruído, por estas produzido, provocam incômodo aos moradores localizados próximos a pista. Tendo isto em mente, calculamos “p” mediante o percentual de veículos pesados mais motos, dado que, analisou-se que a pressão sonora ocasionada por motos se assemelha a produzida pelos veículos pesados. Com dados prontos, recorreu-se a fórmula abaixo para a definição do $L_{m(25)}$ para cada horário:

$$L_{m(25)} = 37,3 + 10 \log[Q.(1 + 0,082p)] \text{ (equação 1.2)}$$

No qual:

Q é fluxo reverente o tráfego de veículos por hora, sob as seguintes condições:

- Asfalto liso,
- Velocidade média do tráfego igual a 100 km/h,
- Gradiente (aclive ou declive) $\leq 5\%$;

p é a percentagem de veículos pesados (maior que 2,8 t).

Tendo em vista o operação de definição do $L_{m(25)}$ realizada, há necessidade de corrigir a velocidade da via de 100km/h (estabelecido por norma), visto que, a rua escolhida para

estudo apresenta velocidade limite de 50km/h. Desta maneira, utilizamos a média da velocidade veicular oferecida pelo banco de dados, e realizamos as seguintes operações seguindo a ordenação apresentada, para o ajuste da velocidade para cada horário do período de 24 horas:

$$Lvl = 27,7 + 10 \cdot \log(1 + (0,02 \cdot vvl)^3) \quad (\text{equação 1.3})$$

$$Lvp = 23,1 + 12,5 \cdot \log(vvp) \quad (\text{equação 1.4})$$

$$D = Lvp - Lvl \quad (\text{equação 1.5})$$

$$Dv = Lvl - 37,3 + 10 \cdot \log\left[\frac{100 + (10^{0,1D} - 1)p}{100 + 8,23p}\right] \quad (\text{equação 1.6})$$

No qual:

Dvé a correção devido à velocidade,

vvl é a velocidade veículos leves,

vvp é a velocidade veículos pesados.

Em seguida ao cálculo da correção, os valores da correção da velocidade foram somados aos valores referentes a $L_{m(25)}$ obtendo-se, por fim, o nível equivalente médio de emissão ($L_{m,E}$) pertencente a cada intervalo de tempo. Com o nível de pressão sonora em mãos conferido pela norma alemã, verificou-se que utilizando somente o modelo matemático alemão não se obteria o NPS que chega nas fachadas, um vez que, o modelo apenas apresenta valores referentes à 4 metros de altura da pista. Em virtude disto, executou-se um ajuste no modelo, tendo por base a exposição (George, 2006, apud), o qual percorreu a respeito do decaimento de 3dB para o dobramento da distância em relação a fonte, sendo esta, uma fonte linear. Mediante esta exposição, apropriou-se do maior valor de pressão sonora referente ao período de 24 horas se estabeleceu um ajuste exponencial do decaimento do nível de pressão. Para esta operação, retirou-se o valor da largura da via mediante o uso do Guia de Previdência Social (GPS) e para fins de cálculo, considerou-se a média de altura de 90 metros do edifício, o que corresponde, em média, a 30 pavimentos. Pra obter a distância do centro da via até a fachada realizou-se relações trigonométricas, e mediante o valor encontrado fez-se emprego desta variável dependente na fórmula do decaimento gerada, recalculando, desta maneira, o NPS para cada andar.

Por último, averiguamos a necessidade de observar o efeito da amplificação sonora no nível de pressão explicado (BISTAFA, 2006). Acústica Aplicada ao Controle do Ruído, pág. 209), o qual esclarece que tal decorrência é ocasionada pelas ruas em formato “U”, as quais

aprisionam o som e devido às múltiplas reflexões nas fachadas direcionadas para a pista, ocasionam um aumento no NPS sentido pelos moradores e, conjuntamente, observa-se a utilidade dos diferentes índices de absorção dos edifícios.

Para esta operação guiou-se pela escolha da verificação de três coeficientes de absorção, sendo eles: o alfa de 0,01 representando o edifício com seu revestimento próprio, por exemplo, o revestimento cerâmico; o alfa 0,4 tendo por base estudos anteriores os quais observaram que os jardins verticais apresentam média de 0,4 de coeficiente de absorção e apropriou-se deste valor para compor o segundo coeficiente escolhido; e por fim, adotou-se o alfa de 0,6 na consideração de jardins verticais que apresentassem maior eficiência. Com os valores de alfas bem definidos, apoderou-se da fórmula da amplificação para um novo reajuste do NPS, dessa vez levando em conta as múltiplas reflexões e os coeficientes de absorção.

Primeiramente utilizou-se a equação 2.2 para a determinação de R, utilizando na operação dados previamente estabelecidos. Efetuado o cálculo do R, realizou-se a equação 2.1, levando em consideração o intervalo entre receptores de 3 metros e o distanciamento destes para a fachada de 1,5 metros.

$$AMP_{reverberação} = 10 \cdot \log \left[1 + \left(\frac{r}{r+2dfachada} \right) (1 - \alpha) \right] + R \quad (\text{equação 2.1})$$

No qual:

r é a distância perpendicular entre o receptor e a via,

d fachada é a distância entre o receptor e a fachada mais próxima,

R calculado pela seguinte fórmula, observado que se o valor ultrapassar 3dB o valor a ser considerado será de 3dB.

$$R = 4 \left(\frac{h_{edifcação}}{W_{via}} \right) \ll 3 \text{ dB} \quad (\text{equação 2.2})$$

No qual:

H edificação é a altura da edificação,

W via é a largura da via.

Uma vez realizadas operações referentes a amplificação sonora, somou-se as pressões calculadas pelo ajuste exponencial do decaimento, relacionadas a cada altura dos receptores, à amplificação gerada por cada alfa, obtendo-se três relações de NPS e coeficientes de absorção.

Terminado o método referente ao modelo matemático, iniciou-se a metodologia referente ao SoundPLAN®, o qual teve como base simulações e modelagens com a elaboração de mapas acústicos, as etapas seguidas foram as seguintes:

- seleção dos dados cartográficos.
- definição das métricas utilizadas na produção de mapas de ruídos.
- simulação e modelagem com a elaboração de mapas acústicos.
- avaliação dos do ruído nas fachadas de edifícios, devido ao tráfego rodoviário.

A área do mapa de ruídos foi definida a partir da estrutura urbana da cidade delimitada pelas principais vias da cidade. Foi considerado o final da Avenida Araucária. A Figura 3.1 apresenta a região de estudo. Os dados cartográficos relativos à área de estudo e arredores foram obtidos no Geoportal do DF (GEOPORTAL, 2020).

O software de simulação ambiental acústica SoundPLAN® foi utilizado na produção dos mapas de ruído, sendo o ruído do tráfego rodoviário. O modelo de propagação utilizado foi o RLS-90, a composição, fluxo, percentual de veículos pesados e leves e a velocidade média, foram obtidas através das análises dos dados do CEV existente no local de estudo.

A partir das curvas de nível, dado do Geoportal DF foi construído o mapa digital do terreno (MDT), que simula a altura em cada ponto do terreno conforme as curvas de nível. Em seguida foram inseridos os objetos virtuais necessários à simulação, edifícios, fontes de ruído etc. Na produção dos mapas de ruído de grelha o passo da rede foi de 1m, a altura de cálculo foi a partir de 3m e a resolução espacial a maior disponível no software de simulação ambiental, 9x9. A altura dos edifícios considerados foi de 90 metros, o que corresponde a 30 andares.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, foram trabalhados os dados relacionados ao comportamento do tráfego rodoviário em Águas Claras, dados estes fornecidos pelo Banco de Dados do DETRAN-DF. Como ilustrado na tabela 1.1 abaixo, foram realizadas as médias, de dados a respeito de uma coleta de 16 meses, referentes: à velocidade da via por hora, ao número de motos, veículos leves, veículos pesados e ao fluxo total de veículos por hora.

Tabela 4.1 – Média das velocidades e do fluxo veicular por hora

Horário(h)	Velocidade(km/h)	Motos	Veículos Leves	Veículos Pesados	Total
00:00 às 01:00	46	21	346	1	369

01:00 às 02:00	47	11	193	0	204
02:00 às 03:00	47	7	118	0	126
03:00 às 04:00	47	6	80	0	86
04:00 às 05:00	47	7	67	0	76
05:00 às 06:00	46	12	124	5	143
06:00 às 07:00	45	50	482	24	565
07:00 às 08:00	44	83	954	26	1068
08:00 às 09:00	44	92	973	23	1094
09:00 às 10:00	44	99	1060	18	1183
10:00 às 11:00	44	116	1171	15	1309
11:00 às 12:00	43	147	1336	13	1503
12:00 às 13:00	43	189	1506	12	1718
13:00 às 14:00	43	171	1411	12	1602
14:00 às 15:00	44	151	1302	15	1472
15:00 às 16:00	44	146	1336	15	1501
16:00 às 17:00	43	140	1392	19	1556
17:00 às 18:00	41	164	1504	21	1693
18:00 às 19:00	39	177	1596	16	1794
19:00 às 20:00	41	136	1545	15	1700
20:00 às 21:00	43	102	1422	11	1537
21:00 às 22:00	43	84	1265	9	1359
22:00 às 23:00	44	73	1105	8	1187
23:00 às 00:00	45	37	592	3	633

Utilizando os valores da tabela 4.1 realizou-se construção de gráficos para melhor visualização e apuração dos dados referentes ao movimento veicular na via. O primeiro gráfico 1.1, ilustrado abaixo, representa as velocidades médias respectivas aos seus horários e o gráfico 1.2, também apresentado abaixo, representa o fluxo total de veículos respectivos aos seus horários.

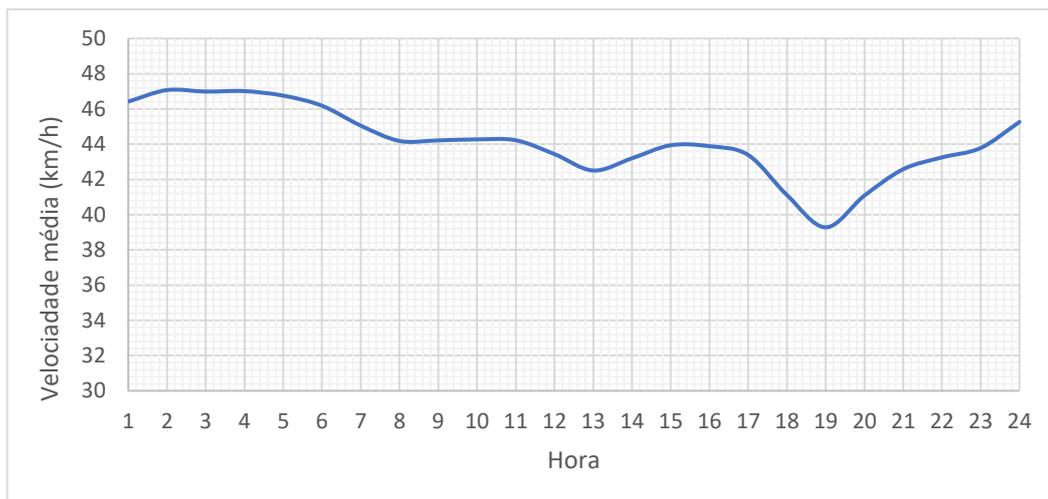


Gráfico 1.1 – Velocidade média por hora

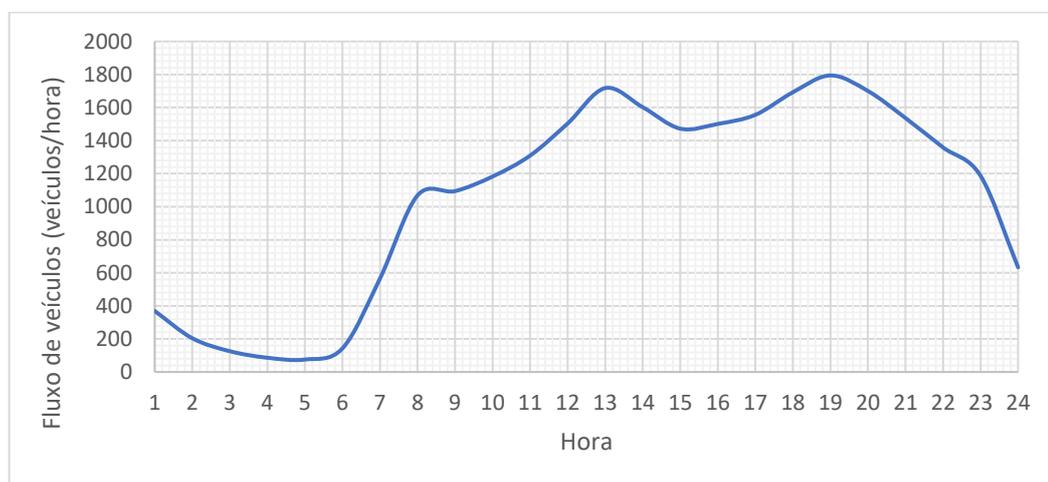


Gráfico 1.2 – Fluxo Total de veículos por hora

Mediante a análise das curvas dos gráficos 1.1 e 1.2, observou-se que conforme há o aumento do fluxo de veículos na via diminui-se, conjuntamente, a velocidade média da pista. Portanto, estas são variáveis indiretamente proporcionais. O congestionamento rodoviário é diariamente vivenciado pelos moradores de Águas Claras, e esta situação é bem representada, no horário das 19 horas, mediante a análise da relação dos gráficos acima. Uma vez que, aumentando o fluxo de carros na pista há a ocorrência de trânsito nesta e, conseqüentemente, os veículos se encontraram estagnados no congestionamento, ocasionando a diminuição da velocidade média neste intervalo de tempo.

Efetuada a comparação da relação referente à velocidade e ao fluxo veicular do tráfego rodoviário, realizou-se o cálculo referente ao percentual de veículos pesados e, simultaneamente ao percentual de veículos pesados mais motos. Apresentado na tabela 4.2:

Tabela 4.2 - Percentual de veículos pesados

Horário(h)	Veículos Pesados (%)	Motos + Pesados (%)
00:00 às 01:00	0,2%	5,8%
01:00 às 02:00	0,0%	5,5%
02:00 às 03:00	0,0%	6,0%
03:00 às 04:00	0,3%	6,8%
04:00 às 05:00	0,5%	9,4%
05:00 às 06:00	3,3%	11,7%
06:00 às 07:00	4,2%	13,1%
07:00 às 08:00	2,4%	10,2%
08:00 às 09:00	2,1%	10,6%
09:00 às 10:00	1,5%	9,8%
10:00 às 11:00	1,2%	10,0%
11:00 às 12:00	0,9%	10,7%
12:00 às 13:00	0,7%	11,7%
13:00 às 14:00	0,8%	11,4%
14:00 às 15:00	1,0%	11,3%
15:00 às 16:00	1,0%	10,7%
16:00 às 17:00	1,2%	10,3%
17:00 às 18:00	1,2%	10,9%
18:00 às 19:00	0,9%	10,7%
19:00 às 20:00	0,9%	8,9%
20:00 às 21:00	0,7%	7,3%
21:00 às 22:00	0,7%	6,9%
22:00 às 23:00	0,7%	6,8%
23:00 às 00:00	0,5%	6,4%

Posteriormente, a coleta de dados necessários, deu-se início ao processo de cálculo do NPS mediante ao modelo RLS-90. Utilizou-se a equação 1.2, pertencente ao cálculo da pressão sonora a25 metros da via, manuseando os valores de fluxo total da via e percentual de veículos pesados+ motos, tendo em consideração, que as motos; atualmente, apresentam escapamento aberto. Fator que ocasiona a semelhança do nível de pressão produzido por veículos pesados e motos, conseqüentemente, neste estudo lidou-se como percentual pesados e motos. Com dados em mãos, aplicou-se na fórmula 1.2, obtendo-se a tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Cálculo do limite a 25 metros da via

Horário(h)	Lm(25) (dB)
00:00 às 01:00	64,7
01:00 às 02:00	62,0
02:00 às 03:00	60,0
03:00 às 04:00	58,6
04:00 às 05:00	58,6
05:00 às 06:00	61,8
06:00 às 07:00	68,0
07:00 às 08:00	70,2
08:00 às 09:00	70,4
09:00 às 10:00	70,6
10:00 às 11:00	71,1
11:00 às 12:00	71,8
12:00 às 13:00	72,6
13:00 às 14:00	72,2
14:00 às 15:00	71,8
15:00 às 16:00	71,8
16:00 às 17:00	71,9
17:00 às 18:00	72,4
18:00 às 19:00	72,6
19:00 às 20:00	72,0
20:00 às 21:00	71,2
21:00 às 22:00	70,6
22:00 às 23:00	70,0
23:00 às 00:00	67,1

Seguindo para o cálculo do limite equivalente médio de emissão, procedeu-se para o cálculo de correção devido a velocidade. Apropriou-se dos dados das velocidades médias por período (apresentados na tabela 4.1), e os aplicou nas equações 1.3 e 1.4 para o cálculo dos L_{vl} e L_{vp} , para posteriormente, utilizá-los na equação 1.5 para o descobrimento o D , como ilustrado na tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Iniciando cálculo de correção da velocidade

Horário(h)	Lvl	Lvp	D
00:00 às 01:00	30,25	43,98	13,73
01:00 às 02:00	30,33	44,10	13,77
02:00 às 03:00	30,32	44,10	13,78
03:00 às 04:00	30,32	44,10	13,77
04:00 às 05:00	30,29	44,10	13,81
05:00 às 06:00	30,22	43,98	13,76
06:00 às 07:00	30,08	43,87	13,78
07:00 às 08:00	29,98	43,74	13,76
08:00 às 09:00	29,98	43,74	13,76
09:00 às 10:00	29,99	43,74	13,75
10:00 às 11:00	29,98	43,74	13,76
11:00 às 12:00	29,89	43,62	13,73
12:00 às 13:00	29,78	43,62	13,84
13:00 às 14:00	29,86	43,62	13,76
14:00 às 15:00	29,95	43,74	13,79
15:00 às 16:00	29,94	43,74	13,80
16:00 às 17:00	29,88	43,62	13,73
17:00 às 18:00	29,62	43,36	13,74
18:00 às 19:00	29,41	43,09	13,67
19:00 às 20:00	29,61	43,36	13,74
20:00 às 21:00	29,78	43,62	13,83
21:00 às 22:00	29,86	43,62	13,75
22:00 às 23:00	29,93	43,74	13,81
23:00 às 00:00	30,11	43,87	13,76

Com todos os dados em prontidão, elaborou-se o cálculo da correção relacionada a velocidade, através do uso da fórmula 1.6, e posteriormente somou-se aos valores de NPS resultantes do cálculo do $L_m(25)$ (condizentes com a tabela 5.1). Obtendo-se, desta maneira, os níveis de pressão sonora corrigidos relativos à 25 metros da pista e à 4 metros de altura, dado pela coluna $L_{m,E}$ da tabela 5.3, representada a seguir.

Tabela 5.3 - Níveis de pressão sonora corrigidos

Horário(h)	Lm(25) (dB)	Dv	Lm,E (dB)
00:00 às 01:00	64,7	-5,09	59,6
01:00 às 02:00	62,0	-5,05	57,0
02:00 às 03:00	60,0	-4,97	55,1
03:00 às 04:00	58,6	-4,83	53,7
04:00 às 05:00	58,6	-4,49	54,1
05:00 às 06:00	61,8	-4,36	57,4
06:00 às 07:00	68,0	-4,37	63,6
07:00 às 08:00	70,2	-4,75	65,5
08:00 às 09:00	70,4	-4,71	65,7
09:00 às 10:00	70,6	-4,79	65,8
10:00 às 11:00	71,1	-4,77	66,3
11:00 às 12:00	71,8	-4,82	67,0
12:00 às 13:00	72,6	-4,75	67,8
13:00 às 14:00	72,2	-4,75	67,5
14:00 às 15:00	71,8	-4,65	67,2
15:00 às 16:00	71,8	-4,71	67,1
16:00 às 17:00	71,9	-4,86	67,0
17:00 às 18:00	72,4	-5,06	67,3
18:00 às 19:00	72,6	-5,33	67,3
19:00 às 20:00	72,0	-5,27	66,7
20:00 às 21:00	71,2	-5,25	66,0
21:00 às 22:00	70,6	-5,30	65,3
22:00 às 23:00	70,0	-5,20	64,8
23:00 às 00:00	67,1	-5,13	62,0

Uma vez que, o modelo matemático alemão apresenta apenas o nível de pressão que chega a 4 metros de altura da fachada, desempenhou-se um ajuste exponencial para o decaimento do NPS de 3dB relacionado com o dobramento a distância, para averiguar o nível de ruído que chega nas fachadas. Executou-se o ajuste exponencial para o horário de maior nível de pressão (destacado na tabela 5.3) para verificação desse efeito, produzindo deste modo a tabela 5.4 e o gráfico 2.1 do decaimento.

Tabela 5.4 - Ajuste exponencial do decaimento

Distância(m)	Lm,E (dB)
25	67,8
50	64,8
100	61,8
200	58,8
400	55,8
800	52,8

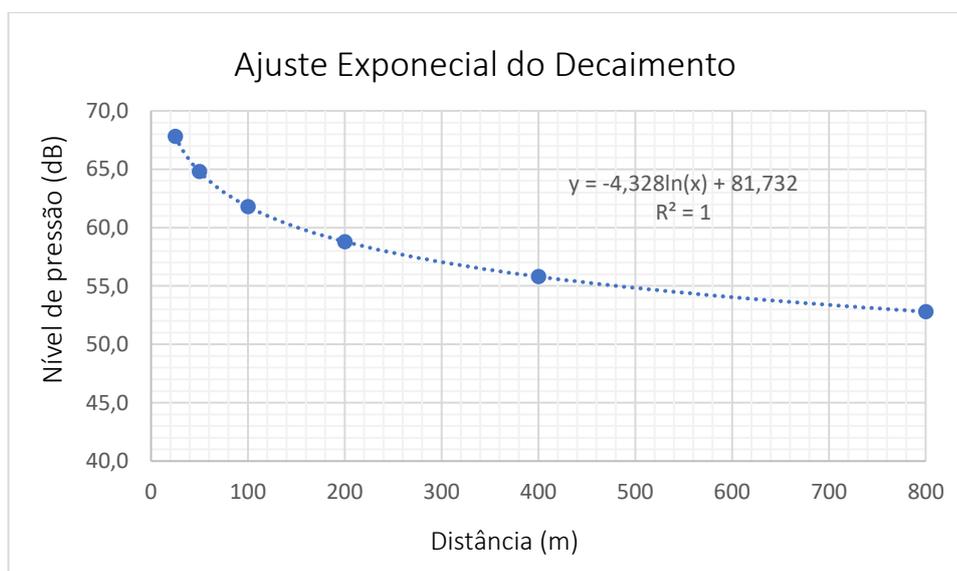


Gráfico 2.1 – Ajuste exponencial do decaimento

Para o cálculo do nível de pressão que chega na fachada do edifício foi necessário a busca dos valores de distância do centro da via à cada receptor localizados nos seus respectivos andares, para isso houve o emprego de relações trigonométricas. Fazendo uso do GPS descobriu-se que a distância do centro da via até a fachada do edifício é de 16,3 metros, subtraindo do espaço de 1,5 metros do receptor a fachada, obteve-se o valor de 14,8 metros. Considerando, um edifício de 30 pavimentos e 90 metros de altura, o intervalo entre os receptores é de 3 em 3 metros. Com os valores de largura da via até o prédio e altura dos receptores, utilizou-se de Pitágoras, e encontrou a relação da coluna X da tabela 2.5, a qual representa a distância inclinada entre o centro da via e os receptores. Aplicando na fórmula do gráfico 2.1, o intervalo do centro até cada receptor em seu respectivo andar, recalculou-se o Lm,E, desta vez, analisando não somente o nível a 25 metros da pista e a 4

metros de altura da via, mas considerando em conjunto, a poluição sonora que chega até o último andar do edifício, observado na tabela 5.5.

Tabela 5.5 – NPS na fachada para diferentes alturas

Altura receptores (m)	x(m)	NPS na fachada (dB)
3	15,1	70,0
6	16,0	69,7
9	17,3	69,4
12	19,1	69,0
15	21,1	68,5
18	23,3	68,1
21	25,7	67,7
24	28,2	67,3
27	30,8	66,9
30	33,5	66,5
33	36,2	66,2
36	38,9	65,9
39	41,7	65,6
42	44,5	65,3
45	47,4	65,0
48	50,2	64,8
51	53,1	64,5
54	56,0	64,3
57	58,9	64,1
60	61,8	63,9
63	64,7	63,7
66	67,6	63,5
69	70,6	63,3
72	73,5	63,1
75	76,4	63,0
78	79,4	62,8
81	82,3	62,6
84	85,3	62,5
87	88,2	62,3
90	91,2	62,2

Posteriormente, foi efetuado o cálculo da amplificação sonora mediante a equação 2.1 para averiguar as múltiplas reflexões provocadas pelos desfiladeiros urbanos, e observar o efeito do coeficiente de absorção dos alfas na atenuação do ruído, como ilustrado na tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Amplificação sonora ocasionada por cada alfa

Receptores (m)	$\alpha = 0,6$	$\alpha = 0,4$	$\alpha = 0,01$
3	3,4	3,6	4,0
6	3,7	4,0	4,6
9	3,9	4,3	4,9
12	4,0	4,4	5,1
15	4,1	4,5	5,3
18	4,1	4,6	5,4
21	4,2	4,6	5,5
24	4,2	4,7	5,5
27	4,2	4,7	5,6
30	4,2	4,7	5,6
33	4,3	4,8	5,6
36	4,3	4,8	5,7
39	4,3	4,8	5,7
42	4,3	4,8	5,7
45	4,3	4,8	5,7
48	4,3	4,9	5,7
51	4,3	4,9	5,7
54	4,3	4,9	5,8
57	4,3	4,9	5,8
60	4,3	4,9	5,8
63	4,3	4,9	5,8
66	4,4	4,9	5,8
69	4,4	4,9	5,8
72	4,4	4,9	5,8
75	4,4	4,9	5,8
78	4,4	4,9	5,8
81	4,4	4,9	5,8
84	4,4	4,9	5,8
87	4,4	4,9	5,8
90	4,4	4,9	5,8

Tabela 6.2 – NPS final

X (m)	$\alpha = 0,6$	$\alpha = 0,4$	$\alpha = 0,01$
15,1	73,4	73,6	73,9
16,0	73,5	73,8	74,3
17,3	73,3	73,7	74,3
19,1	73,0	73,4	74,1
21,1	72,6	73,1	73,8
23,3	72,2	72,7	73,5
25,7	71,8	72,3	73,1
28,2	71,5	72,0	72,8
30,8	71,1	71,6	72,5
33,5	70,8	71,3	72,1
36,2	70,5	71,0	71,8
38,9	70,2	70,7	71,5
41,7	69,9	70,4	71,3
44,5	69,6	70,1	71,0
47,4	69,3	69,9	70,8
50,2	69,1	69,6	70,5
53,1	68,9	69,4	70,3
56,0	68,6	69,2	70,1
58,9	68,4	69,0	69,9
61,8	68,2	68,8	69,7
64,7	68,0	68,6	69,5
67,6	67,8	68,4	69,3
70,6	67,7	68,2	69,1
73,5	67,5	68,0	68,9
76,4	67,3	67,9	68,8
79,4	67,2	67,7	68,6
82,3	67,0	67,6	68,5
85,3	66,9	67,4	68,3
88,2	66,7	67,3	68,2
91,2	66,6	67,1	68,0

Com intuito de examinar o aumento do NPS ocasionado pelas ruas em formato “U”, somou-se as pressões medidas pelo ajuste do decaimento, apresentadas na tabela 5.5, aos valores relacionados à amplificação sonora de cada alfa exibidos na tabela 6.1. Desta maneira, recalculando novamente o nível de pressão referente a cada andar, gerou-se o NPS

final do modelo matemático. Sendo que este novo nível de pressão considerou todos os fatores, tanto de: nível de pressão a 25 metros da via, pressão sonora apresentada em cada andar, amplificação gerada pelos desfiladeiros e por fim, atentando-se para a absorção das superfícies do prédio. Tudo isto ilustrado na tabela 6.2.

Mediante a tabela 6.2, é possível visualizar como a utilização de Jardins Verticais auxiliam na atenuação do ruído, uma vez que, os jardins verticais por apresentarem coeficientes de absorção maiores que os revestimentos convencionais, estes absorvem parte da energia do som, ao contrário dos revestimentos cerâmicos que apresentam um comportamento mais reflexivo. Consequentemente, mediante absorção de parte da energia, diminui-se a amplificação mediante as múltiplas reflexões, e em conjunto, abaixa-se o NPS que chega às fachadas. Para melhor visualização, fez-se o gráfico 3.1, para análise dos níveis de pressão respectivos a cada alfa e no gráfico 3.2, para verificação do efeito do coeficiente de absorção na amplificação do ruído rodoviário:

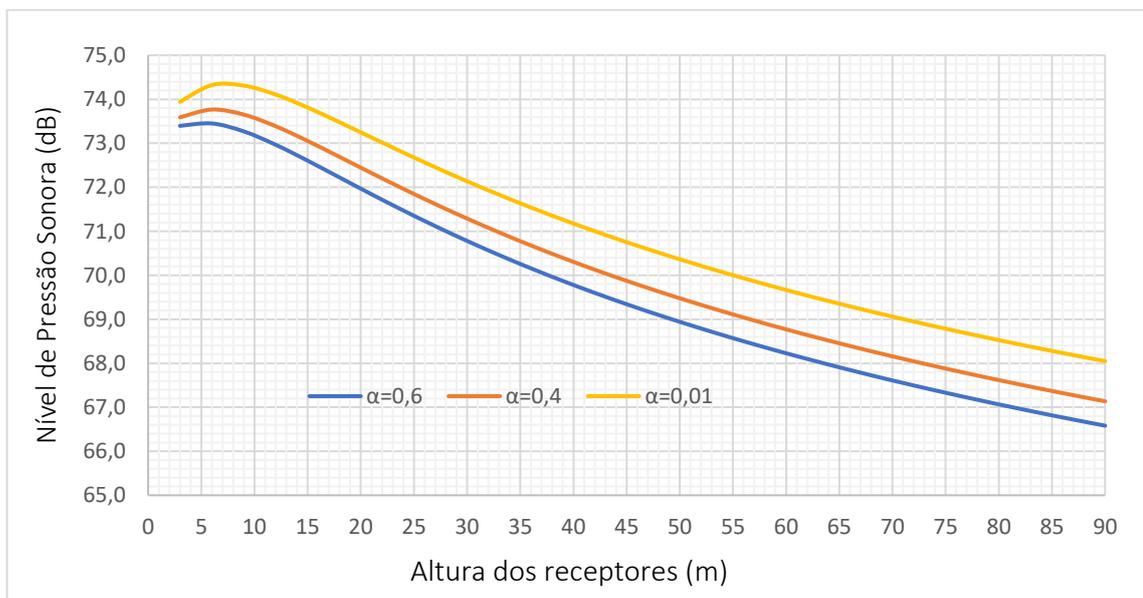


Gráfico 3.1 – Nível de Pressão Sonora para cada coeficiente de absorção

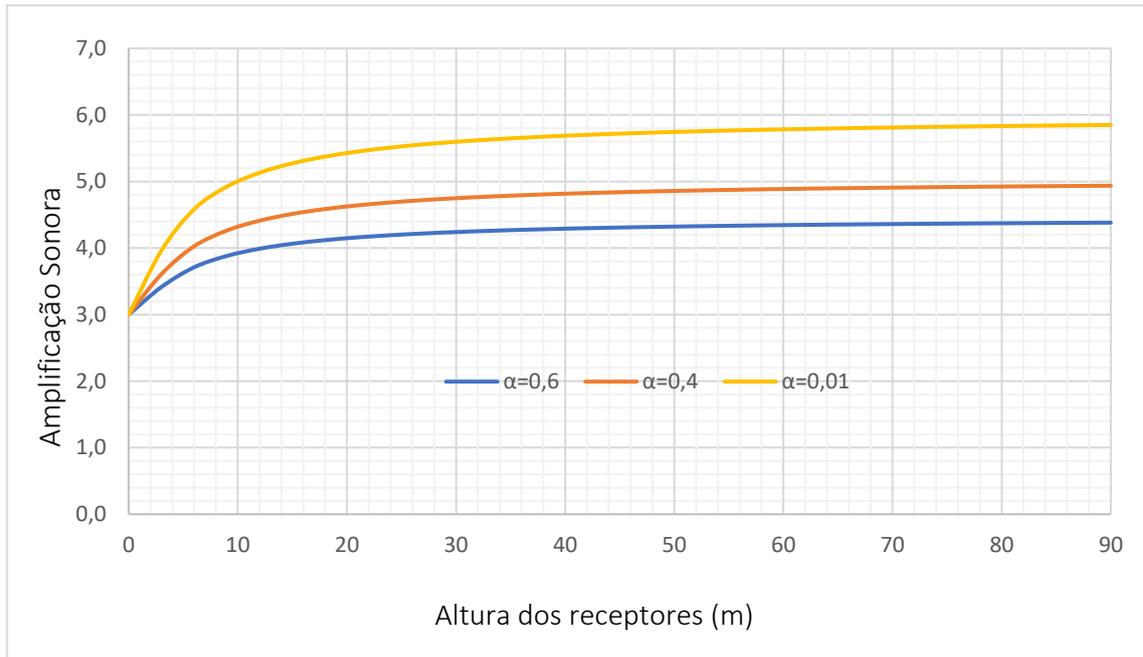


Gráfico 3.2 – Amplificação Sonora causada pelos desfiladeiros urbanos

Finalizado a análise através do modelo matemático, introduziu-se a verificação do NPS por meio da produção de simulações e mapas acústicos utilizando o software, nesse estudo, SoundPLAN®. Realizou-se a simulações com os dois coeficientes de absorção, sendo eles: 0,01 e 0,4. Nas simulações efetuaram-se modelagens com 3, 5, 10 e 15 reflexões, entretanto empregou-se operações com 15 reflexões para ver apuração da pressão sonora referente a cada coeficiente de absorção, uma vez que, com 15 reflexões verificou-se uma estabilidade nos valores apresentados dos NPS. Como ilustrado nas figuras 7.1 e 7.2 (os quais são a representação dos mapas acústicos do NPS) pode-se avistar a vista de cima e o corte transversal, respectivamente, da simulação dos jardins verticais, com coeficientes de 0,4; nas fachadas voltadas para a via.

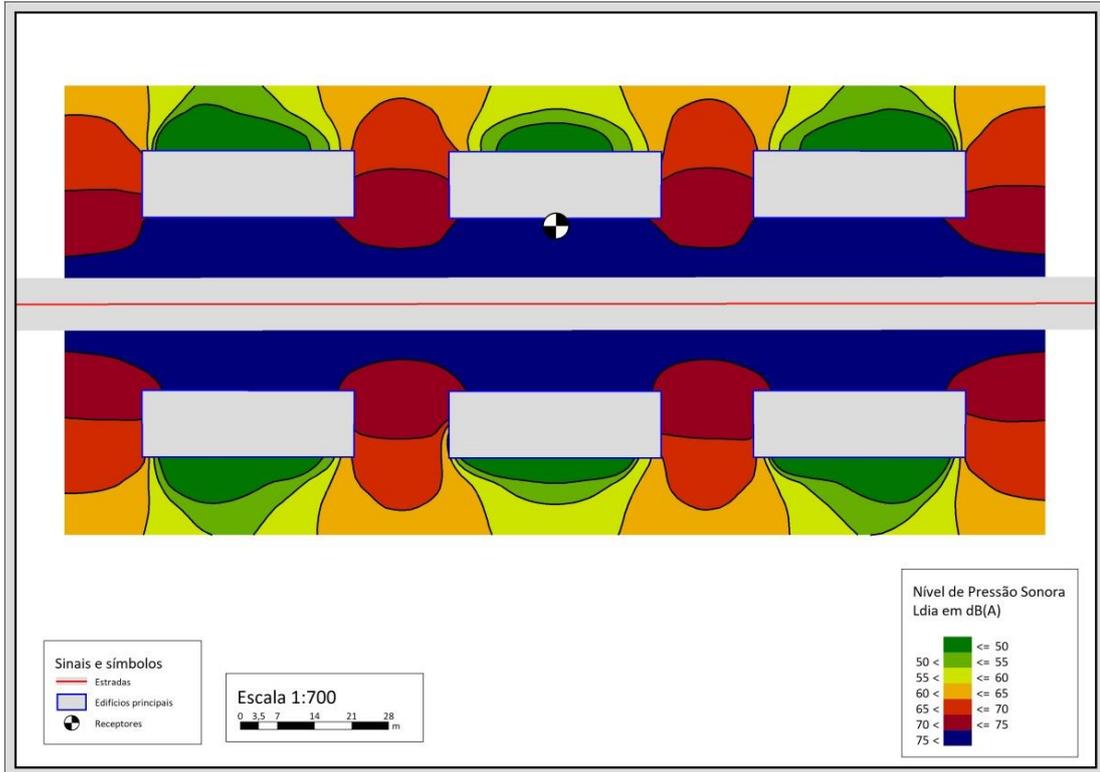


Figura 7.1 – Vista de cima - simulação SoundPLAN (Fonte: Autor)

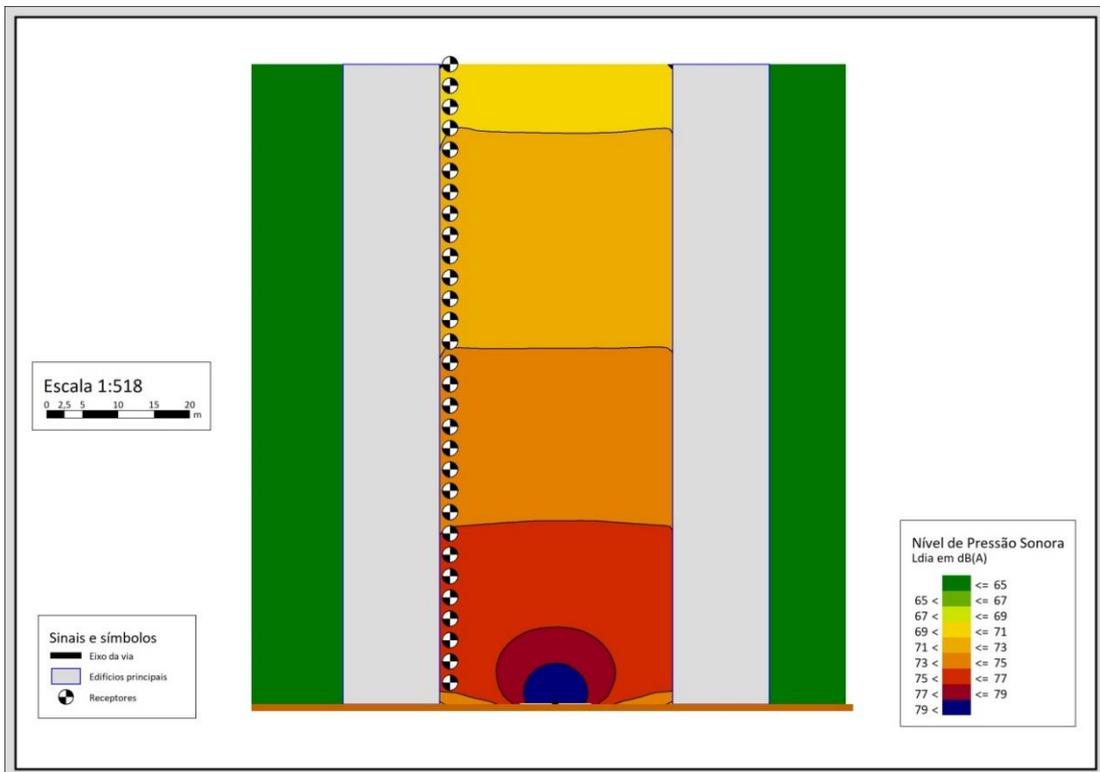


Figura 7.3 – Vista transversal – simulação SoundPLAN (Fonte: Autor)

Para verificar a investigação dos níveis de pressão sonora, coletamos os dados produzidos pelo software para cada alfa e tabulamos seus valores, ambos considerando 15 reflexões, como mostra na tabela 7.3 abaixo:

Tabela 7.3 - Dados produzidos pelo software

Receptores (m)	$\alpha = 0,4$	$\alpha = 0,01$
3	75,7	76,1
6	76,1	76,4
9	76,1	76,5
12	76,0	76,4
15	75,8	76,2
18	75,6	76,0
21	75,3	75,8
24	75,1	75,6
27	74,8	75,3
30	74,6	75,1
33	74,3	74,9
36	74,1	74,7
39	73,8	74,5
42	73,6	74,2
45	73,4	74,0
48	73,2	73,8
51	72,9	73,6
54	72,7	73,4
57	72,5	73,3
60	72,3	73,1
63	72,1	72,9
66	72,0	72,7
69	71,8	72,5
72	71,6	72,4
75	71,4	72,2
78	71,2	72,0
81	71,0	71,9
84	70,8	71,7
87	70,7	71,5
90	70,5	71,4

Para melhor visualização das diferenças nos níveis de pressão mediante a adoção dos alfas, realizou-se o gráfico 4.1, apresentado logo abaixo.

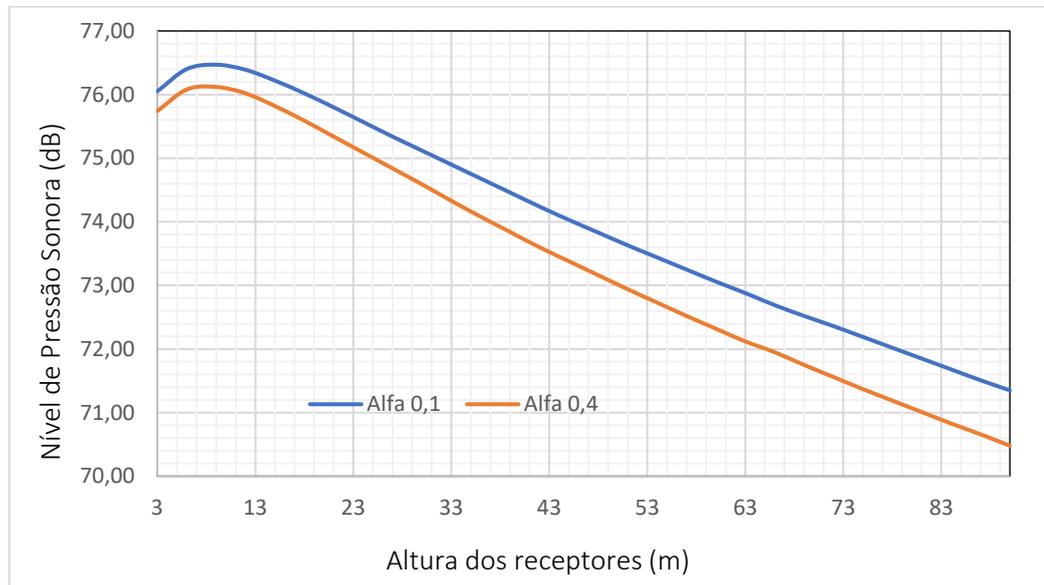


Gráfico 4.1 – Nível de Pressão Sonora (SoundPLAN®)

Através do gráfico 4.1, torna-se claro a eficiência dos jardins verticais na atenuação da poluição sonora. Visto que, este aumenta a absorção da energia do ruído, conseqüentemente, diminui a pressão sentida pelos moradores do edifício.

Por último foram feitos mais dois gráficos, desta vez analisando e comparando os métodos adotados. O gráfico 5.1 representando o NPS dos jardins verticais (com coeficientes de 0,4) apresentados no modelo matemático e no software, e o gráfico 5.2 mostrando a atenuação causada pelos jardins verticais no modelo e no software.

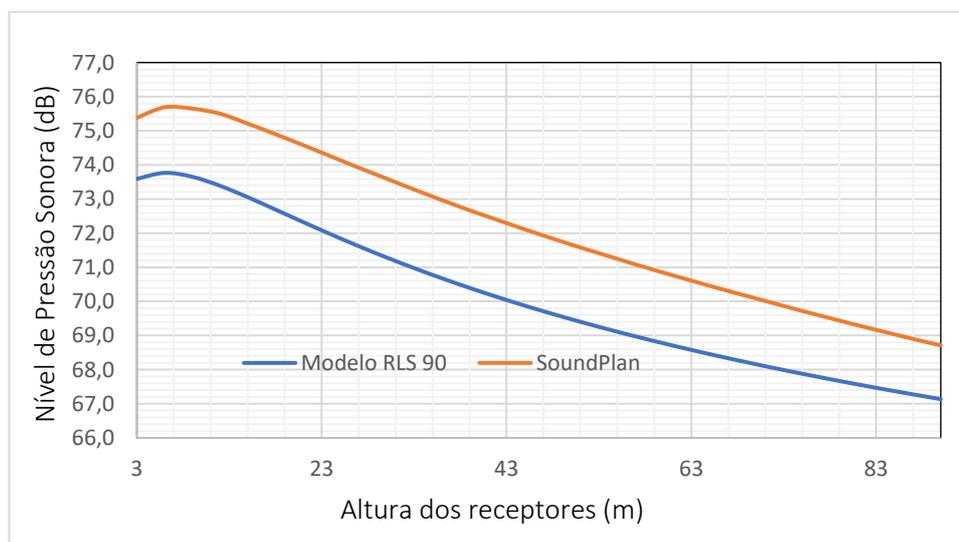


Gráfico 4.1 – Comparação do Nível de Pressão Sonora do modelo com software

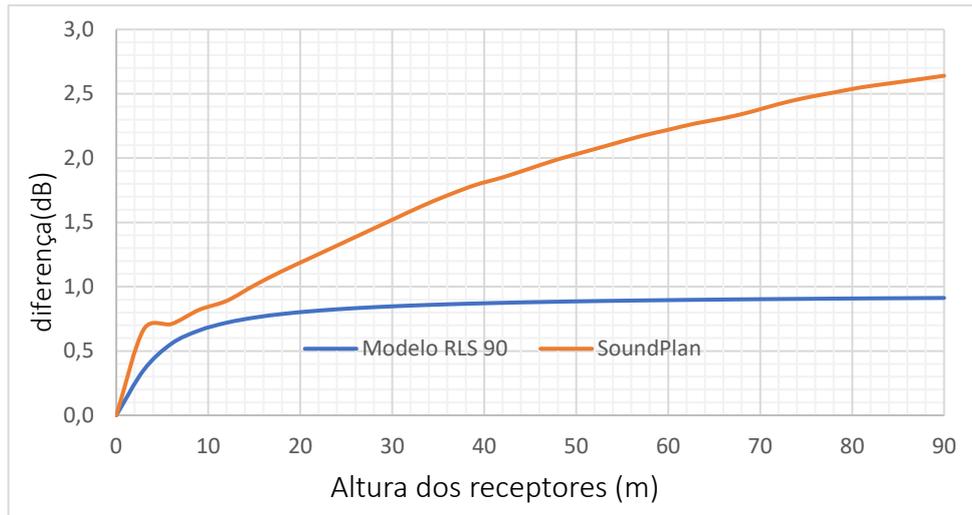


Gráfico 5.2 – Atenuação Sonora ocasionada por andar

Verificando o gráfico 5.1, percebe-se que o software apresenta um maior NPS se comparado a pressão exibida no modelo, uma vez que, o software produz uma metodologia mais sofisticado de análise e considera de maneira mais explícita as reflexões causadas pelos desfiladeiros urbanos, à vista disso, o SoundPLAN® apresentou um maior nível de pressão.

Tendo por base o gráfico 5.2, pode-se verificar que ambas as modelos apontam que a implementação dos jardins verticais é eficiente na diminuição da poluição sonora. Visualizando a curva do software do gráfico, percebe-se que dependendo da altura, os jardins podem diminuir até 2,6 dB no NPS sentido pelos usuários. E realizando a média de ambas as curvas, observa-se que o modelo matemático pode gerar uma atenuação de 0,8 dB, por outro lado, o software pode gerar uma diminuição do ruído, em média, de 1,8 dB. Em suma, mediante os resultados e discussões não resta dúvidas da eficiência conferida pelos jardins verticais na diminuição do ruído urbano causado pelo tráfego rodoviário.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A poluição sonora compromete a saúde e a qualidade de vida da população. O ruído urbano, neste estudo devido ao tráfego rodoviário, gera impactos negativos aos moradores dos principais centros urbanos. Uma das possíveis medidas de mitigação é a implantação de jardins verticais, ainda pouco explorados no Brasil.

Com o objetivo de averiguar se os jardins verticais é solução possível para a atenuação do ruído urbano, foram realizadas simulações utilizando um modelo simplificado para a reverberação urbana, o outro por meio do software SoundPlan. Empregou-se um

revestimento convencional cerâmico, com coeficiente de absorção sonora de 0,01, e na simulação dos jardins verticais considerou-se o coeficiente de 0,4; e adicionalmente 0,6 para jardins com maior desempenho.

Decorridas todas as simulações, foi demonstrado que conforme aumentava-se o coeficiente de absorção, melhor era o resultado de atenuação do ruído, por conseguinte, os jardins se mostraram eficientes. Uma vez que, na modelagem do software, dependendo da altura o decaimento de nível de pressão, fazendo uso de jardins verticais, poderia ser de até 2,6 dB. Em suma, é possível que o uso de jardins verticais possa trazer benefícios a população de Águas Claras.

Como resultado também foi observado em ambos os métodos a eficiência dos jardins verticais, porém as simulações utilizando o software SounPlan, apresentaram resultados mais significativos, ou seja, uma maior atenuação.

Apesar da simulação ser realizada para uma área específica da cidade de Águas Claras, esta solução pode ser utilizada em outros ambientes urbanos, principalmente em locais que apresentem ruas em “U”.

7. REFERÊNCIAS

ABNT (2000) NBR 10151 - Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABNT (2013) NBR 15575—Edificações habitacionais – Desempenho. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ALI, M. Y.; BARBALHO, B. S.; GARAVELLI, S. L.; MAROJA, A. M. Incômodo Provocado pelo Metrô em Águas Claras - DF. In: XXVII ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 2017, Brasília. ANAIS DO XXVII ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 2017. v. 1. p. 254-263.

APA (2011) Agência Portuguesa do Ambiente. Directrizes para elaboração de mapas de ruído versão 3. Disponível em: https://www.apambiente.pt/_zdata/DAR/Ruido/NotasTecnicas_EstudiosReferencia/DirectrizesMapasDez2011_todo_2.pdf. Data de acesso: 28 de março de 2020

BISTAFA, S. R. Acústica Aplicada ao Controle do Ruído. Editora Edgard Blücher, 1ª edição - 2006, p.187-230.

BRÜEL E KJÆR. Ruido Ambiental. K. Larsen & Søn A/S, 2000.

COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL (CODEPLAN) Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios 2016. Disponível em: <http://www.codeplan.df.gov.br>

/images/CODEPLAN/PDF/pesquisa_socioeconomica/pdad/2016/Apresentacao_PDAD_Aguas_Claras.pdf. Acesso em: 23/02/2019.

DIRETIVA 2002/49/CE Relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, The Official Journal of the European Communities 189, p. 12-17, 2002.

FERREIRA NETO, M. de F.; BERTOLI, S. R. Desempenho De Barreiras Acústicas ao Ar Livre: Comparação Entre Aspectos Objetivos e Subjetivos. IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Foz do Iguaçu, p.135-142, 2002.

FREIA, P.; MOHLERA E.; RÖÖSLIA, M. Effect of nocturnal road traffic noise exposure and annoyance on objective and subjective sleep quality. International Journal of Hygiene and Environmental Health 217(2-3), p. 188–195, 2014.

GARAVELLI, S. L.; SILVA, W. C.; SILVA, E. F. F, COSTA, C. A.; CARVALHO JR, E. B. e MAROJA, A. M. A contaminação acústica provocada pelo Metrô do DF. In: 7º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional Integrado e Sustentável, Maceió-Brasil, 2016.

IBGE CIDADES. Distrito Federal, Brasília. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/panorama>. Acesso em: 01/03/2019.

KOTZEN, B.; ENGLISH, C. Environmental Noise Barriers. Ed. E & FN Spon, 1ª ed, 1999.

MAEKAWA, Z., Noise reduction by screens Applied Acoustics, v.1, p.157-173, 1968.

METRÔ DF. Disponível em: <<http://www.metro.df.gov.br/estrutura-2/>>. Acesso em: 14/12/2018.

METRÔ DF. Horário de funcionamento. 2017. Disponível em: <<http://www.metro.df.gov.br/horario-de-funcionamento-2/>>. Acesso em: 14/12/2018.

MIEDEMA, H. M. E.; PASSCHIER-VERMEER W.; VOS, H. Elements for a position paper on night-time: transportation noise and sleep disturbance. TNO Inro, Delft, 2002-59, 2003.

MUMFORD, L. A cidade na história. Editora WMF Martins Fontes, 4ª ed, p. 228-233, 1998.

PAUNOVIĆ, K.; BELOJEVIĆ, G.; JAKOVLJEVIĆ, B. Noise annoyance is related to the presence of urban public transport. Science of the Total Environment 481, p. 479-487, 2014.

SICAD/DF-ORTO FOTOCARTAS 2009 (SICAD-SIRGAS) escala 1:10.000. Disponível em http://www.segeth.df.gov.br/mapas_sicad/index_sirgas.htm. Acesso em 13/12/2018.

SOUNDPLAN MANUAL. Braunstein + Berndt GmbH, Backnang, Alemanha, 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Burden Night Noise Guidelines for Europe. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2009.