



Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Centro de Informática

Graduação em Engenharia da Computação

**Um Estudo sobre a Oclusão Espacial em
Ambientes Urbanos Virtuais**

Rodrigo Beltrão Valença

Trabalho de Graduação

Recife
20 de maio de 2022

Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Centro de Informática

Rodrigo Beltrão Valença

Um Estudo sobre a Oclusão Espacial em Ambientes Urbanos Virtuais

Trabalho apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia da Computação.

Orientador: *Prof. Nivan Roberto Ferreira Junior*

Recife
20 de maio de 2022

A todos que me fizeram sorrir nos últimos anos

Agradecimentos

Um agradecimento mais que especial aos meus pais, Sergio e Sergia; a meus irmãos, Vitor e Rebeca; e a meu cunhado, Eduardo Sato, que se tornou família há muito tempo, sem eles eu não existiria, toda minha base veio deles. Aos meus amigos e professores do colégio, por terem moldado boa parte da minha personalidade. Aos meus amigos da faculdade por abrirem meus olhos ao mundo, tanto o seu lado técnico, mas principalmente o social. Sem ao menos um de vocês dificilmente eu seria a pessoa que sou hoje e de qual me orgulho.

Um agradecimento especial a Vitor Veras, Matheus Correia, Túlio Falcão, Ana Lúcia Guimarães, Brenda Correia, Humberto Aguiar, Igor de Moura, Augusto Queiroz, Matheus Ferreira, Mariana Carvalho, Gabriela Leal, Nathalia Paiva, Ladson Gomes, João Victor Oliveira, Antonio Gadelha, Rielson Leandro, Homero Barros, João Pedro Xavier, Matheus Lira, por estarem presentes durante tanto tempo, eu sou eternamente grato pela amizade de vocês.

A Yasmim Barros o maior deles, por acompanhar desde a minha indecisão sobre qual tema falar neste Trabalho de Graduação até o fim do momento da escrita. Escutando cada desabafo, motivando nos momentos ruins e me ajudando em cada um dos passos que trilhei aqui, sem você eu teria provavelmente desistido em algum momento.

Agradeço ao Centro de Informática pela estrutura e ensino de altíssima qualidade. À UFPE por democratizar o ensino e tornar possível uma educação superior gratuita de qualidade. A todos os bons professores que tive e principalmente ao professor Nivan Ferreira, por aceitar me orientar neste trabalho aqui presente, e ao professor Silvio Melo, por aceitar o convite de ser avaliador.

Agradeço a você que esta lendo este trabalho, muito esforço e dedicação foram postos aqui. Espero que seja de bom proveito para você, que ajude a responder suas dúvidas ou, de preferência, atice sua curiosidade. Tenham uma boa leitura.

*"Just like the seed
I don't know where to go
Through dirt and shadow, I grow
I'm reaching light through the struggle
Just like the seed
I'm chasing the wonder
I unravel myself
All in slow motion"
—AURORA AKSNES*

Resumo

Explorar grandes ambientes, como cidades, é uma tarefa essencial em áreas como arquitetura e jogos. A renderização desses ambientes num modelo virtual tridimensional é de grande ajuda, criando uma experiência imersiva para o usuário, porém, devido a uma grande densidade e variedade de geometrias presentes, um problema comum é a oclusão de elementos. Este trabalho se propõe a estudar soluções atuais e propor novas alternativas para combater a obstrução visual. Para isso, iremos combinar técnicas existentes, como raio-X e deformações cilíndricas, e também propor variantes possíveis para elas. Desse modo, esperamos melhorar a experiência de navegação e exploração dos usuários nos ambientes virtuais urbanos tridimensionais.

Palavras-chave: Navegação virtual, Deformação cilíndrica, Raio-X, Ambientes Urbanos, Computação Gráfica

Abstract

Exploring large environments such as cities is an essential task in areas such as architecture and games. The rendering of these environments in a three-dimensional virtual model is of great help, creating an immersive experience for the user, however, due to a great density and variety of geometries, a common problem is the occlusion of elements. This work proposes to study current solutions and propose new alternatives to avoid visual obstruction. For this, we will combine existing techniques, such as X-ray and cylindrical deformation, and also propose possible variants for them. Thus, we hope to improve users' navigation and exploration experience in urban three-dimensional virtual environments.

Keywords: Virtual navigation, Cylindrical deformation, X-Ray, Urban Environments, Computer Graphics

Sumário

1	Introdução	1
2	Trabalhos Relacionados	3
2.1	Navegação	3
2.2	Técnicas	3
3	Fundamentação teórica e metodologia	6
3.1	Deformações	6
3.1.1	Deformação cilíndrica frontal	7
3.1.2	Deformação cilíndrica frontal com distância	8
3.1.3	Deformação cilíndrica lateral	9
3.2	Transparência	11
3.3	Implementação e tecnologias	11
3.3.1	Three.js	12
4	Resultados	13
4.1	Efeitos visuais	13
4.1.1	Deformação cilíndrica frontal	14
4.1.2	Deformação cilíndrica frontal com distância	15
4.1.3	Deformação cilíndrica lateral	16
4.1.4	Transparência	16
4.2	Combinação de efeitos	17
5	Conclusão	20

Lista de Figuras

1.1	Oclusão causada em ambientes urbanos virtuais	1
1.2	Vista aérea	2
2.1	Representação de <i>WIM</i> para cidades de grande área [5]	4
2.2	Deformação cilíndrica apresentada em Chen et al.[5]. Os prédios em vermelho eram pontos de interesse do usuário que só podem ser visto devido à deformação	5
3.1	Referência dos eixos em relação ao usuário. O eixo Z sempre se posiciona na direção de observação do usuário	6
3.2	Representação gráfica da deformação frontal e referência das variáveis utilizadas	7
3.3	Representação gráfica da deformação frontal com distância e referência das variáveis utilizadas	8
3.4	Representação gráfica da deformação lateral e referência das variáveis utilizadas	9
3.5	Representação da área de transparência ao redor do usuário	11
3.6	Interface de controle	12
4.1	Referência sem nenhum efeito aplicado	13
4.2	Representação de um ambiente virtual com deformação cilíndrica frontal aplicada.	14
4.3	Representação de um ambiente virtual com deformação cilíndrica frontal com distância aplicada.	15
4.4	Representação de um ambiente virtual com deformação cilíndrica lateral.	16
4.5	Representação de um ambiente virtual com transparência aplicada.	16
4.6	Representação de um ambiente virtual com deformação cilíndrica frontal e transparência aplicadas.	17
4.7	Representação de um ambiente virtual com deformação cilíndrica frontal com distância e transparência aplicadas.	18
4.8	Representação de um ambiente virtual com deformação cilíndrica lateral e transparência aplicadas.	18
4.9	Representação de uma avenida em que a maior oclusão acontece nas laterais.	19
4.10	Ao aplicarmos transparência com deformação lateral conseguimos fornecer muito do contexto global que estava escondido anteriormente.	19

CAPÍTULO 1

Introdução

Ambientes virtuais tridimensionais são representações, reais ou fictícias, de lugares com as quais o usuário pode explorar e interagir [2]. A possibilidade de adicionar, remover e alterar elementos dentro desses ambientes é de bastante interesse de áreas como arquitetura e planejamento urbano [8, 9]. Além disso, esse mecanismo é bastante utilizado em jogos para criar uma sensação maior de imersão para o usuário [10].

Para isso, um dos fatores essenciais para a imersão do usuário nesses ambientes é a navegação pelo espaço renderizado, que será o foco deste trabalho. Para esta ser bem sucedida, temos dois fatores essenciais: movimentação e orientação. O primeiro se refere ao processo de se deslocar no espaço, como caminhar, correr, voar ou até mesmo se teleportar; já o segundo diz respeito ao reconhecimento da posição do usuário em relação ao ambiente. Este reconhecimento se baseia tanto no contexto local, elementos mais próximos que são fundamentais para entender qual a posição atual do usuário, quanto no contexto global, os elementos mais distantes que compõe maior parte do cenário.

Porém, um problema presente principalmente nos ambientes urbanos é a forte oclusão de elementos causada pela densa presença de geometrias altas, como prédios e torres, como podemos observar na Figura 1.1. A Figura 1.2 está na mesma posição no plano que a figura anterior, porém, representa uma visão aérea deste local, mostrando a quantidade de informação que perdemos devido à oclusão.

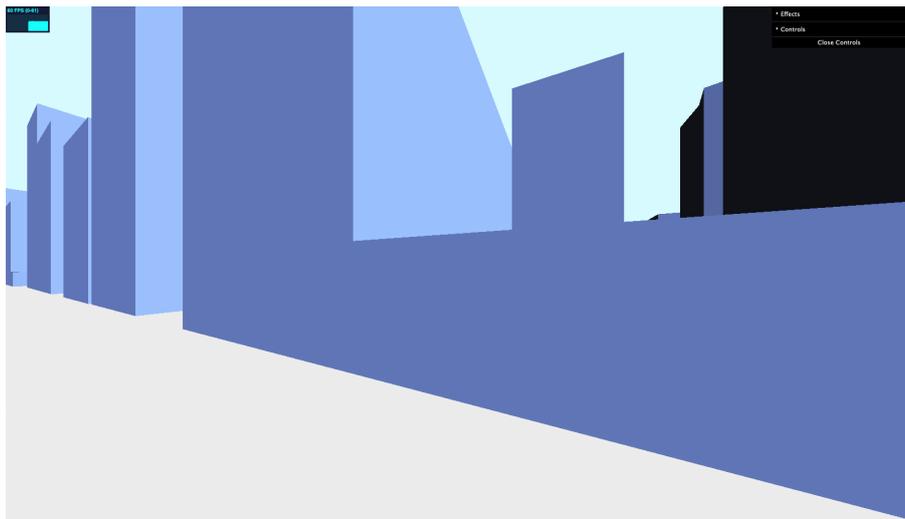


Figura 1.1 Oclusão causada em ambientes urbanos virtuais

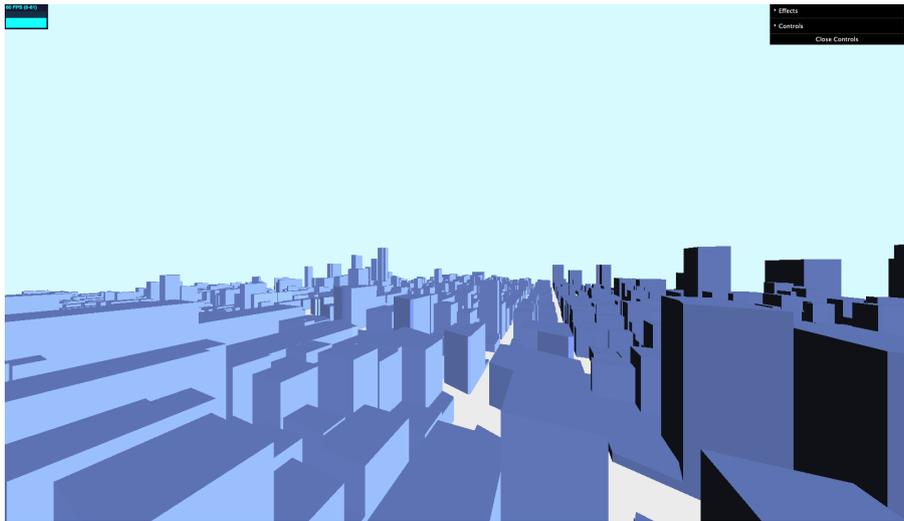


Figura 1.2 Vista aérea

Para mitigar esse problema, soluções como o raio-X [1] ou World-in-Miniature [13] (WIM) podem ser utilizadas, porém, essa técnica apresentam certas limitações. O raio-X não resolve oclusão do contexto global enquanto WIM não conseguem integrar os dois contextos de modo eficiente. No entanto, para termos uma maior eficiência em nos situar, ambos os contextos são necessários de modo integrado e coeso. Outra solução bastante utilizada é a troca entre as perspectivas locais, visão terrestre, e globais, visão aérea. Essa troca constante acaba consumindo muito tempo e torna o processo mais ineficaz [6], [3]. Sendo assim, estabelece-se um desafio para o estudo: a criação de técnicas que possibilitem o usuário a ter um contexto local e global simultaneamente com o mínimo de oclusão possível.

Com esta motivação, Chen et al.[5] propuseram uma estratégia baseada na deformação do espaço utilizando uma projeção cilíndrica do espaço urbano. Essa solução consegue fornecer ao usuário uma melhor orientação no contexto global sem que ele saia da visão terrestre. Entretanto, este método não soluciona o problema de oclusão para o contexto local, principalmente para vizinhanças muito densas. Desta forma, ainda existe a necessidade de variações desta técnica que resolva a oclusão local.

Este trabalho visa propor novas abordagens para resolver o problema de oclusão em ambientes virtuais tridimensionais urbanos. Pretendemos usar como uma base inicial o modelo proposto por Chen et al. [5] e aliar a deformação cilíndrica apresentada com técnicas que possuem sucesso em mitigar oclusão local. Iremos estudar a implementação do raio-X [1] apenas em uma área ao redor do usuário, por exemplo, de forma que as áreas mais distantes não sejam afetadas, ajudando a preservar o contexto global. Também iremos propor outras possíveis deformações, de modo a achar projeções que forneçam ambos os contextos sem que a arquitetura das construções sejam comprometidas. Desse modo, ao propor um repertório maior de estratégias e combinações, esperamos melhorar a experiência do usuário na navegação para diversos cenários e objetivos.

Trabalhos Relacionados

Nesta seção iremos revisar trabalhos relacionados a como navegar eficientemente e técnicas para evitar oclusão nesses ambientes.

2.1 Navegação

No trabalho de Bowman et al.[4] eles trazem alguns princípios de como criar uma experiência agradável e eficiente para usuários em ambientes virtuais tridimensionais, sendo um deles a navegação. Esta é uma das atividades que mais se faz presente na interação com o ambiente, sendo de vital importância principalmente para aqueles de grande área. Em seus estudos, Bowman e colegas dividiram a navegação em dois componentes: movimentação, o modo com o qual você se desloca de um ponto para outro dentro do ambiente, e a capacidade de traçar uma rota até seu ponto de destino, ou *wayfinding*.

Este trabalho pretende focar no aspecto de *wayfinding* do usuário. Para este ser bem-sucedido o usuário necessita reconhecer os elementos perto dele, contexto local, tal como os elementos distantes, contexto global. Porém, devido à oclusão dos ambientes urbanos temos uma maior dificuldade para reconhecer esses contextos, logo, para obter o contexto global muitas vezes o usuário precisa alternar entre visão terrestre e aérea, estratégia ineficaz e que consome muito tempo, como mostrado por Cockburn et al.[6] e Baudisch et al.[3].

2.2 Técnicas

Para resolver este problema, técnicas que oferecem os contextos local e global simultaneamente foram propostas e aprimoraram a compreensão de ambientes virtuais tridimensionais, como mostrado por Pasewaldt [11].

Técnicas como mundo em miniatura, ou *world in miniature (WIM)*[13], conseguem mostrar os 2 contextos, porém, com uma clara separação entre eles, podendo confundir o usuário por não relacionar claramente o contexto local com o global. Além disso, *WIM* apresenta problemas como oclusão [15] e foi apenas testada para cidades pequenas [7]. Como podemos observar na Figura 2.1 abaixo, ao representar ambientes urbanos de grande área, *WIM* acaba reproduzindo uma escala tão pequena da cidade que prejudica bastante a sua compreensão, como foi mostrado por Chen et al.[5]. O prédio vermelho à direita do usuário mal consegue ser observado no *WIM*.

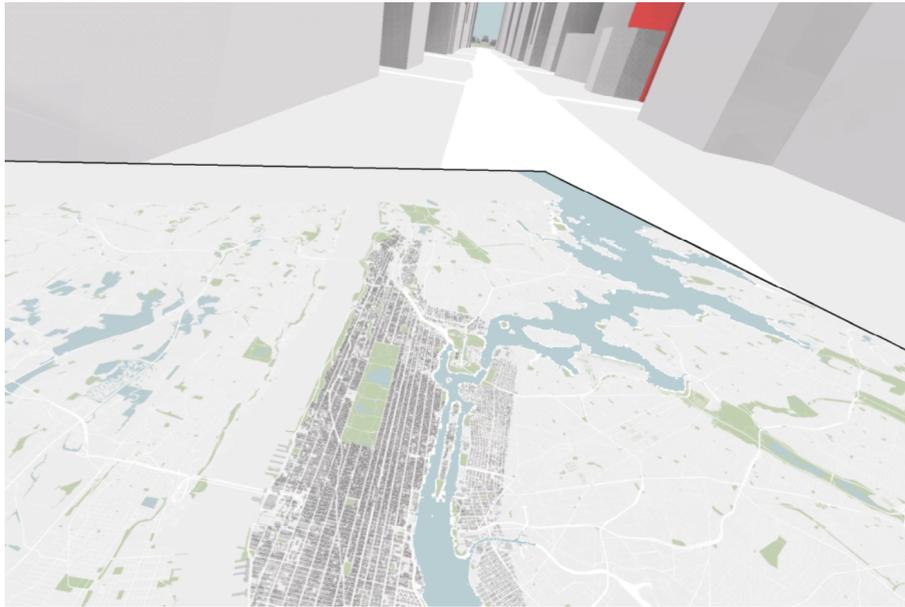


Figura 2.1 Representação de *WIM* para cidades de grande área [5]

Para resolver o problema da separação dos contextos outras técnicas baseadas na deformação do espaço foram propostas. Dentre elas, Spur et al.[14] propôs utilizar o espaço superior da tela, pouco utilizado, para projetar uma representação bidimensional da cidade em uma esfera centrada no usuário. Desse modo, os usuários poderiam ter uma noção de estruturas distantes sem precisar sair da visão terrestre. No entanto, ao reter o elemento tridimensional em sua projeção, esse método acaba prejudicando a localização espacial do usuário, sendo de vital importância para o *wayfinding*, como mostrado por Bowman [4]. No entanto, em outro trabalho, Pasewaldt et al.[12] propôs uma deformação tridimensional baseada em *B-splines* para se aproveitar totalmente do espaço da tela. No entanto, sua abordagem focou na visão aérea do usuário.

Finalmente, Chen et al.[5] em seu trabalho propôs uma deformação tridimensional focada na visão terrestre. Sua deformação se baseia em uma projeção cilíndrica a partir do usuário, de modo que o contexto local possua baixa deformação enquanto o contexto global sofre uma muito maior, porém, sem haver interseção das arestas provocadas pela distorção, como podemos observar na Figura 2.2. Os estudos feitos com usuários mostraram uma melhora na navegação. No entanto, devido à grande densidade de alguns locais os usuários conseguiam visualizar bem pontos muito distantes, mas ainda eram restringidos pela oclusão local, principalmente ao usar visão terrestre.

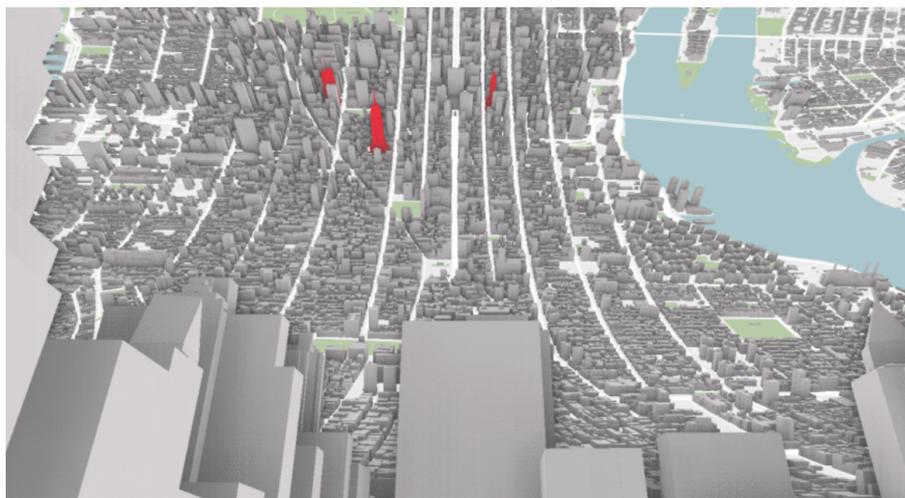


Figura 2.2 Deformação cilíndrica apresentada em Chen et al.[5]. Os prédios em vermelho eram pontos de interesse do usuário que só podem ser visto devido à deformação

Para evitar a mudança de perspectiva, foi proposto como trabalhos futuros a implementação de técnicas para ver através de elementos, como raio-X de modo seletivo. Outro problema apresentado foi a deformação no formato dos elementos muito distantes que poderia ser relevante em cenários específicos.

Fundamentação teórica e metodologia

O presente trabalho tem como objetivo reproduzir e modificar estratégias utilizadas para melhorar a navegação do usuário em ambientes virtuais urbanos. Para isso, iremos revisar a deformação cilíndrica frontal apresentada em [5] e a partir dela apresentar novas alternativas para resolvermos os problemas citados no capítulo anterior.

3.1 Deformações

A ideia principal para resolver o problema de contextualização global é deformar o ambiente ao nosso redor, pois, deste modo, podemos melhorar a compreensão das informações que a uma grande distância do usuário criando uma transição entre os contextos. Para isso, exploramos a técnica das deformações cilíndricas tendo como origem a posição do usuário nas direções X ou Z. A Figura 3.1 mostra a orientação de referência que utilizaremos na descrição das deformações. Note que o eixo z, sempre corresponde à direção de visão da câmera.

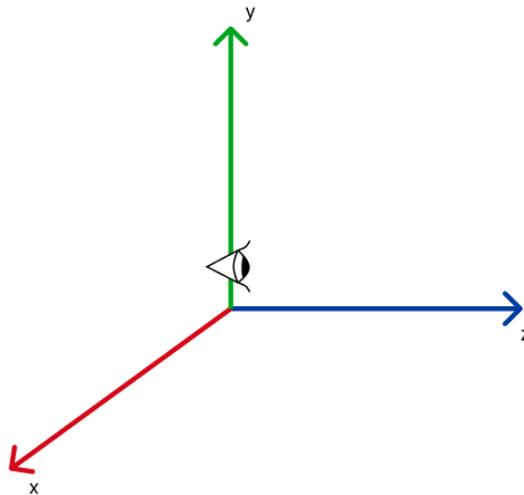


Figura 3.1 Referência dos eixos em relação ao usuário. O eixo Z sempre se posiciona na direção de observação do usuário

3.1.1 Deformação cilíndrica frontal

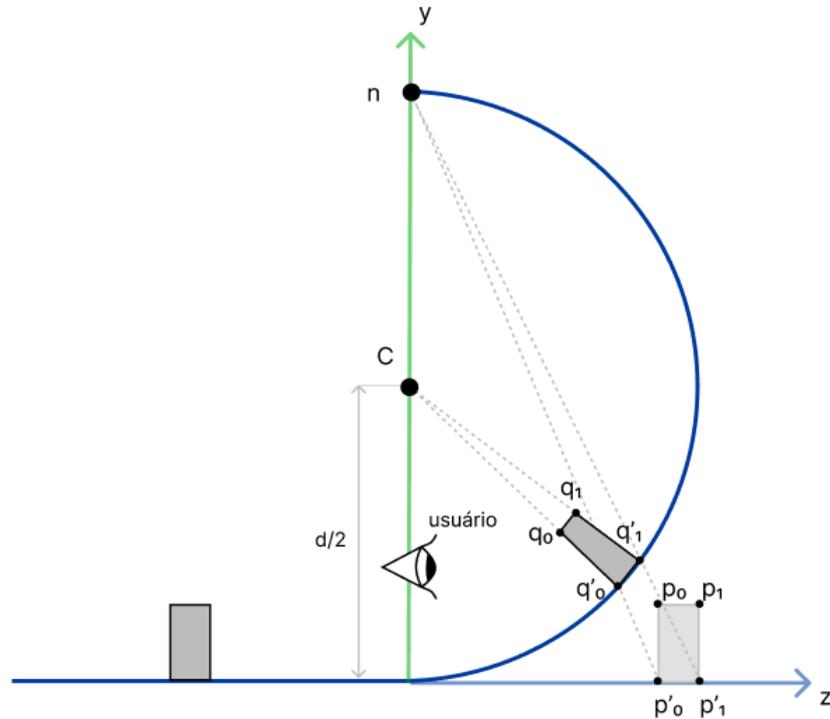


Figura 3.2 Representação gráfica da deformação frontal e referência das variáveis utilizadas

Esta primeira deformação corresponde à proposta por Chen et al. [5]. Essa técnica tem como principal objetivo fornecer ao usuário uma nova visualização dos pontos em sua frente, que, em geral, estariam obstruídos. A deformação cilíndrica fornece simultaneamente o contexto local e global ao usuário, possibilitando o usuário a visualizar pontos distantes de forma distorcida. O processo de deformação é ilustrado na Figura 3.2. De maneira mais formal, para realizar essa deformação consideramos um semi-cilindro de diâmetro d que tangencie o plano definido pelos eixos Z e X e tenha como ponto de interseção a posição atual do nosso usuário. A partir disso, podemos calcular as coordenadas projetadas no cilindro, (x, y, z) , a partir de um ponto na superfície do plano XZ , (X, Y, Z) sendo $Y = 0$, da seguinte maneira:

$$q'_i = (x, y, z) = \left(X, \frac{d \cdot Z^2}{d^2 + Z^2}, \frac{d^2 \cdot Z}{d^2 + Z^2} \right)$$

Podemos estender essa abordagem para pontos fora do plano. Considerando um ponto (X, Y, Z) tal que $Y > 0$ podemos projetá-lo na superfície de nosso plano XZ e então projetarmos nosso novo ponto no cilindro. Vamos chamar esse novo ponto projetado de q_{cil} . Agora, iremos transladar q_{cil} Y unidades na direção \vec{d} do centro de nosso cilindro que é dada por:

$$\vec{d} = (X_d, Y_d, Z_d) = \left(0, \frac{d}{2} - y, -z\right)$$

De modo que, dados $(X_{cil}, Y_{cil}, Z_{cil})$ pontos de q_{cil} e t o vetor de translação podemos finalmente calcular o ponto projetado q_i do seguinte modo:

$$t = (X_t, Y_t, Z_t) = (0, Y \cdot Y_d, Y \cdot Z_d) \quad (3.1)$$

$$q_i = (x, y, z) = (X_{cil}, Y_{cil} + Y_t, Z_{cil} + Z_t) \quad (3.2)$$

3.1.2 Deformação cilíndrica frontal com distância

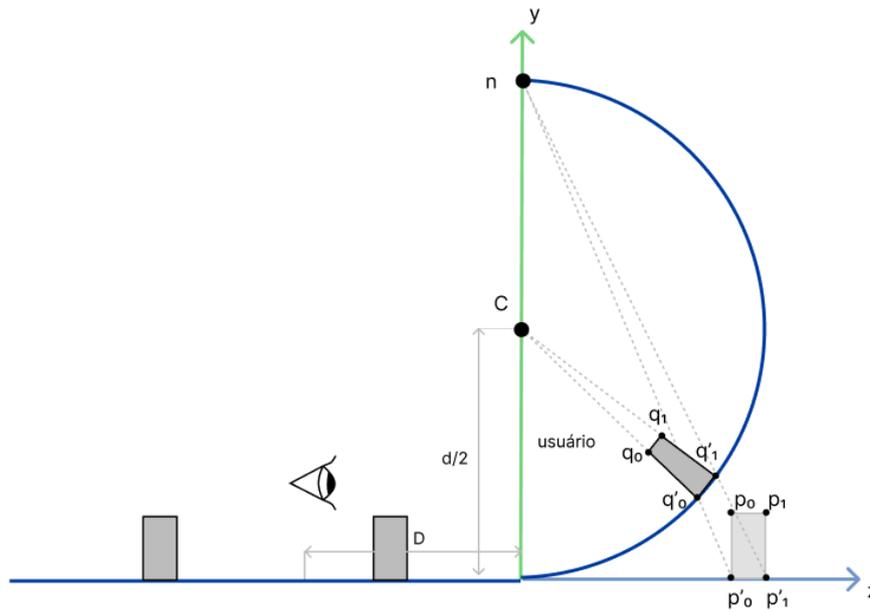


Figura 3.3 Representação gráfica da deformação frontal com distância e referência das variáveis utilizadas

A adição de um deslocamento do centro da esfera tem como objetivo evitar distorções no contexto local, porém, ainda fornecendo ao usuário uma visualização de pontos distantes. Caso o valor do deslocamento, D , for zero, esta se comporta exatamente igual à deformação cilíndrica frontal regular.

Essa deformação se assemelha bastante com a apresentada anteriormente, tendo como única diferença a adição de uma distância, D , entre o ponto de tangência do cilindro com o eixo Z e a posição do usuário. Logo, dado um ponto na superfície $p'_i = (X, Y, Z)$ iremos projetá-lo apenas se sua coordenada Z estiver a pelo menos D unidades de distância do usuário. Para aplicar a projeção em um ponto da superfície do plano formado pelo plano XZ , que possua coordenada $Y = 0$, iremos inicialmente transladar sua coordenada Z em $-D$ unidades para criarmos um

novo ponto (X, Y, Z_t) , tal que $Z_t = Z - D$, e então, após projetá-lo iremos transladar o ponto projetado em D unidades na coordenada Z transladada, como podemos ver a seguir.

$$(x', y', z') = \left(X, \frac{d \cdot Z_t^2}{d^2 + Z_t^2}, \frac{d^2 \cdot Z_t}{d^2 + Z_t^2} \right)$$

$$q'_i = (x, y, z) = (x', y', z' + D)$$

Os pontos que possuem coordenada $Y > 0$ serão deformados de modo semelhante ao apresentado na deformação frontal. Iremos projetá-lo no plano e então transladá-lo Y unidades em direção ao centro do cilindro C . Porém, vamos considerar que \vec{d} está apontando para um centro deslocado em $-D$ unidades no eixo Z .

$$\vec{d} = (X_d, Y_d, Z_d) = \left(0, \frac{d}{2} - y, -z - D \right)$$

A partir disso, dados $(X_{cil}, Y_{cil}, Z_{cil})$ pontos de q_{cil} e t o vetor de translação podemos achar q_i utilizando as equações 3.3 e 3.4 com o valor de \vec{d} obtido acima.

3.1.3 Deformação cilíndrica lateral

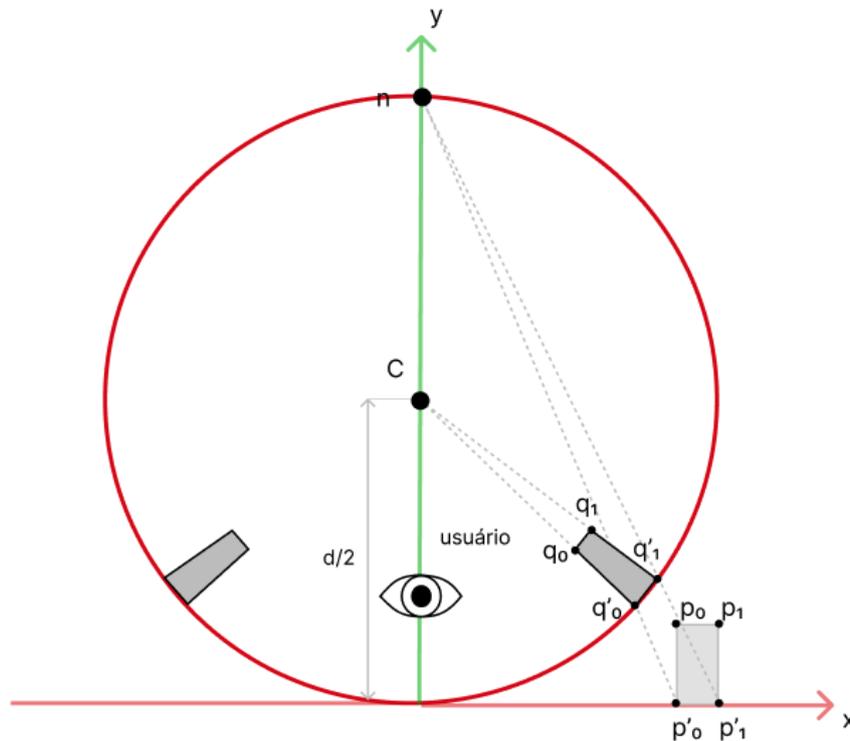


Figura 3.4 Representação gráfica da deformação lateral e referência das variáveis utilizadas

Esta técnica se assemelha às outras distorções apresentadas, porém, iremos deformar os pontos em relação ao eixo X, ao invés do eixo Z.

Para isso iremos considerar um semi-cilindro de diâmetro d que tangencie o plano formado pelo eixo X e tenha como ponto de interseção a posição atual do nosso usuário, como podemos observar na Figura 3.4. A partir disso, podemos calcular as coordenadas projetadas no cilindro, (x, y, z) , a partir de um ponto na superfície no eixo X, (X, Y, Z) sendo $Y = 0$, da seguinte maneira:

$$q'_i = (x, y, z) = \left(\frac{d^2 \cdot X}{d^2 + X^2}, \frac{d \cdot X^2}{d^2 + X^2}, Z \right)$$

Para calcular pontos que possuem $Y > 0$ iremos usar a mesma abordagem apresentada nas deformações anteriores para obter q_{cil} . Porém, desta vez calcularemos o vetor direção em relação ao eixo X da seguinte maneira:

$$\vec{d} = (X_d, Y_d, Z_d) = \left(-x, \frac{d}{2} - y, 0 \right)$$

E então, considerando $(X_{cil}, Y_{cil}, Z_{cil})$ pontos de q_{cil} e t o vetor de translação, podemos achar o ponto q_i :

$$t = (X_t, Y_t, Z_t) = (Y \cdot X_d, Y \cdot Y_d, 0) \quad (3.3)$$

$$q_i = (x, y, z) = (X_{cil} + X_t, Y_{cil} + Y_t, Z_{cil}) \quad (3.4)$$

3.2 Transparência

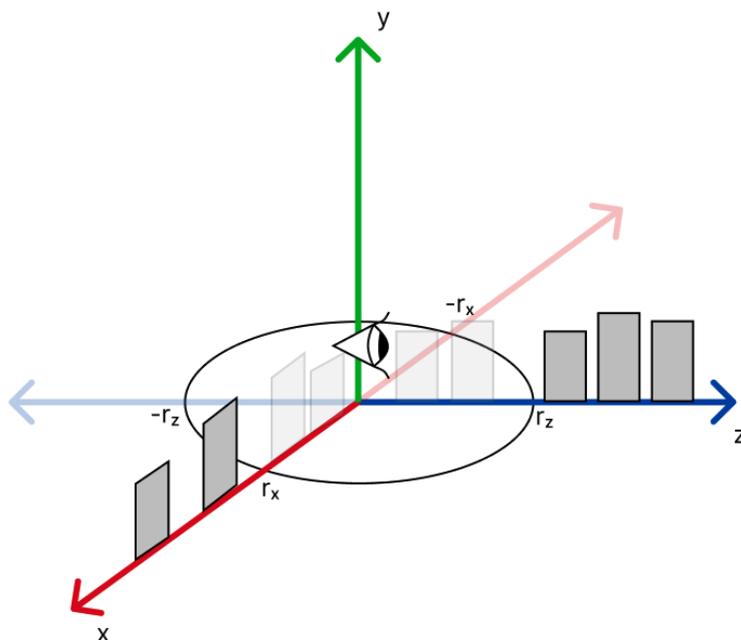


Figura 3.5 Representação da área de transparência ao redor do usuário

A utilização dessa técnica foi motivada pela obstrução local que possuímos nos ambientes urbanos virtuais. A aplicação das deformações foca em resolver o problema de contextualização global, porém, o contexto local ainda sofre com forte obstrução. Logo, a aplicação de técnicas de transparências foi proposta em [5] para lidar com esse problema.

Neste trabalho, estamos propondo uma redução de opacidade apenas dentro de uma área circular de raio r centrada no usuário, como podemos ver em 3.5. Deste modo não comprometemos o contexto global, reduzimos a obstrução e ainda fornecemos as geometrias locais de modo transparente.

3.3 Implementação e tecnologias

As técnicas, descritas anteriormente, foram implementadas em um ambiente Web. Desse modo, qualquer usuário que possua um computador com suporte básico para gráficos 3D e acesso à internet pode testar nosso projeto. A implementação foi feita em *Typescript* que roda com *webpack* no *front-end*. Para renderização dos gráficos foi feita utando a biblioteca *Three.js*, detalhada a seguir.

3.3.1 Three.js

Three é uma biblioteca que nos fornece uma interface para implementar cenários tridimensionais em ambiente web. Para isso, ela se utiliza de outra biblioteca, *WebGL*, que possui aceleração de *GPU* para processamento de imagens e efeitos.

Ela também nos fornece uma grande possibilidade de customização. Através de uma linguagem para *OpenGL* chamada *GLSL* podemos criar *shaders* para aplicar nas geometrias que estamos renderizando. *Shaders* são programas que rodam na *GPU* durante a renderização dos elementos tridimensionais em tela, eles podem ser divididos em duas categorias, *vertexShaders*, responsáveis por transformações na geometria, e *fragmentShaders*, responsáveis por transformações de cores e luzes.

Para a implementação das deformações nós utilizamos o *vertexShader*. Já para a transparência, utilizamos o *fragmentShader* para atribuir valores diferentes de opacidade caso o ponto esteja dentro da área definida pela circunferência de raio r . Através de *toggles* e variáveis disponíveis através de uma *Graphic User Interface*, GUI, que podemos observar na Figura 3.6, podemos controlar a renderização desses efeitos na nossa tela de acordo com a nossa necessidade.

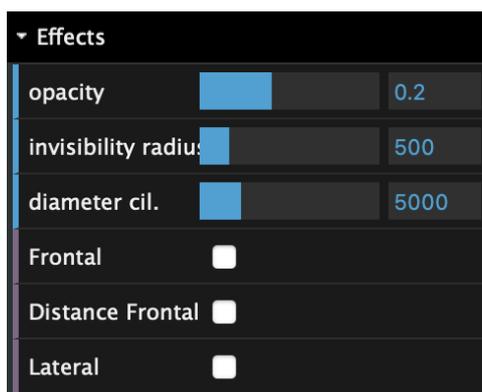


Figura 3.6 Interface de controle

CAPÍTULO 4

Resultados

Nesta seção, iremos demonstrar o resultado de cada uma dos efeitos visuais apresentadas na seção anterior. Em seguida, vamos analisar possíveis combinações e discutir cenários nos quais suas aplicações seriam interessantes.

4.1 Efeitos visuais

Para avaliar o resultado de cada uma dos efeitos iremos usar a Figura 4.1 abaixo como referência. Todas as sugestões serão aplicadas na mesma posição e ângulo de câmera, de modo a facilitar a comparação dos resultados para cada um dos métodos. A escolha dessa imagem se deu pela presença de uma forte oclusão nos lados e possui uma área aberta, porém, com leve oclusão, que poderia ser do interesse do usuário, em sua frente.

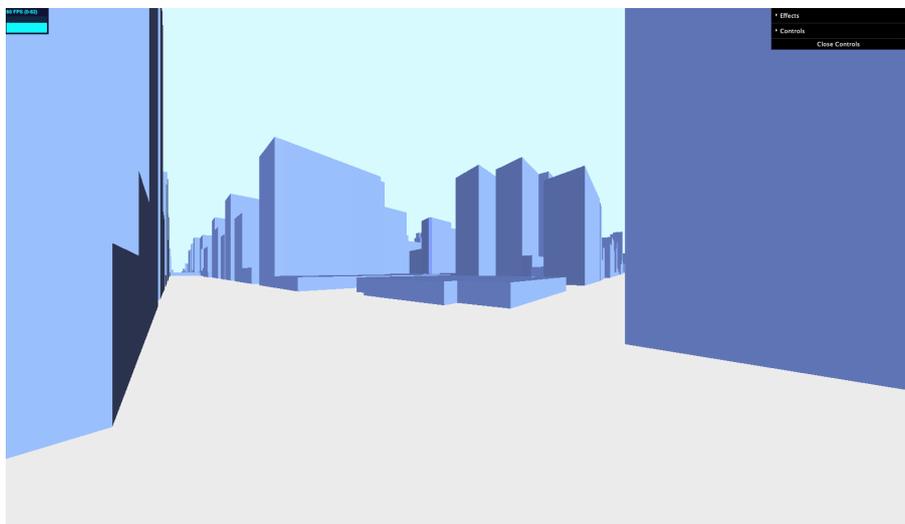


Figura 4.1 Referência sem nenhum efeito aplicado

4.1.1 Deformação cilíndrica frontal

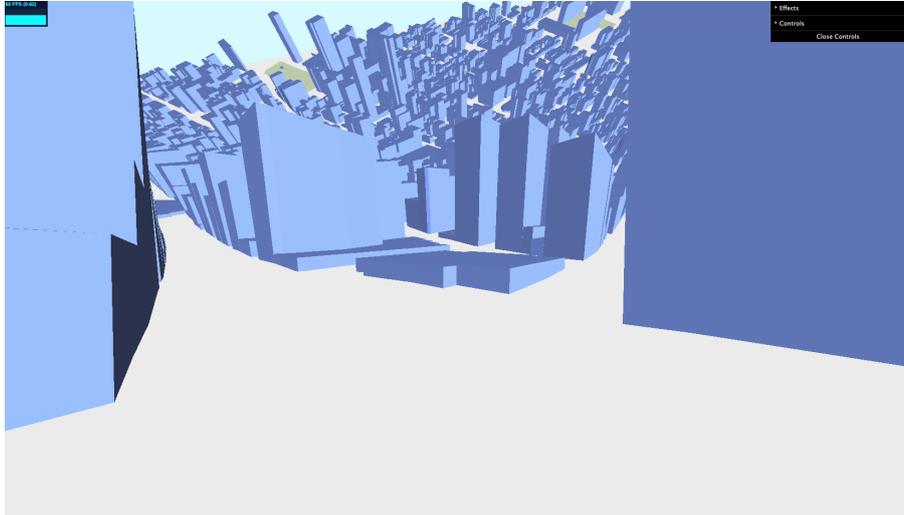


Figura 4.2 Representação de um ambiente virtual com deformação cilíndrica frontal aplicada.

Como podemos observar na Figura 4.2 o contexto global está muito mais presente do que na Figura 4.1. No entanto, ainda podemos observar alguns problemas, citados por [5], tais como a oclusão local e uma leve deformação no formato dos prédios. Esta técnica tem como objetivo auxiliar o usuário que saiba que o seu ponto de destino está a sua frente. Porém, quanto mais perto do destino, menos efetiva esta será, devido à oclusão local.

4.1.2 Deformação cilíndrica frontal com distância

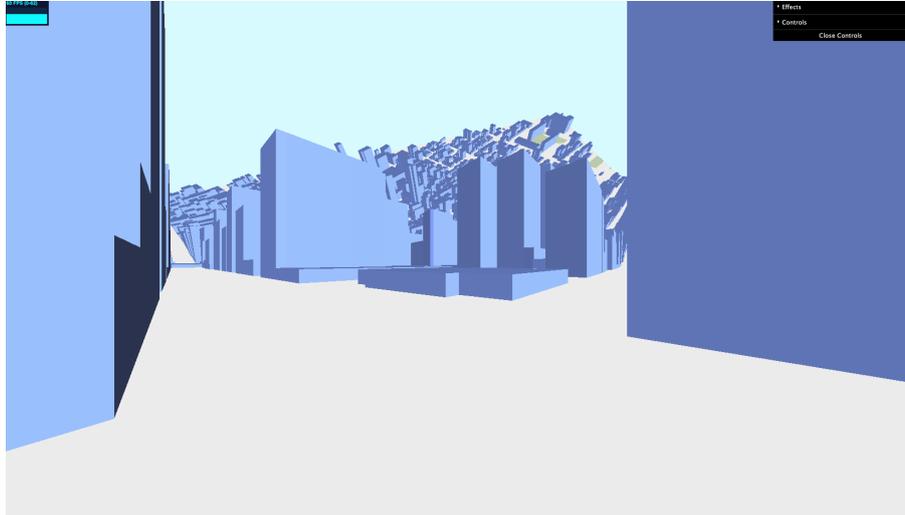


Figura 4.3 Representação de um ambiente virtual com deformação cilíndrica frontal com distância aplicada.

Esta técnica apresentou resultados similares à deformação cilíndrica frontal simples. Porém, é possível notar na Figura 4.3 que o contexto local apresenta menos deformação de sua geometria em detrimento da quantidade de contexto global que fornecemos na Figura 4.2. Semelhante à técnica anterior, esta pretende auxiliar o usuário a achar o destino à sua frente. Porém, almeja preservar ao máximo o contexto local, evitando deformações a uma distância do usuário, sendo de ajuda para usuários que buscam objetos cujo formato é de grande importância ou estão próximos de seu ponto de destino.

4.1.3 Deformação cilíndrica lateral

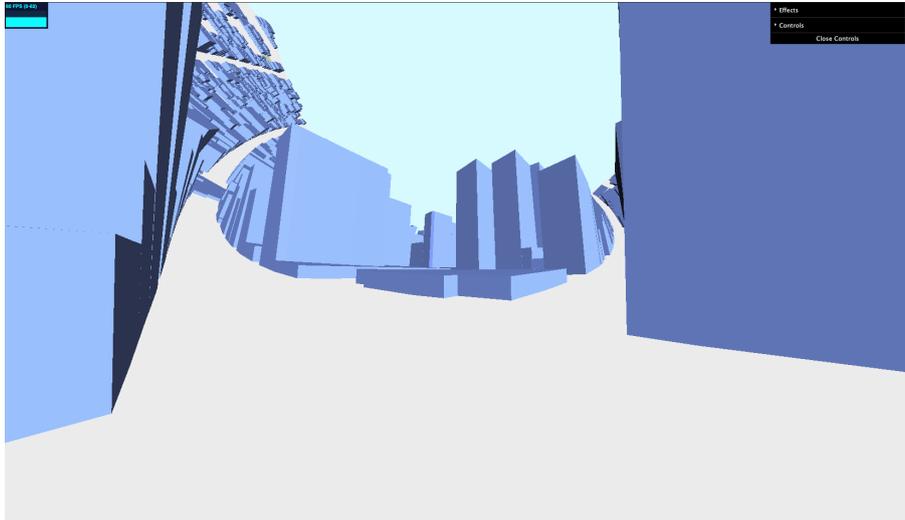


Figura 4.4 Representação de um ambiente virtual com deformação cilíndrica lateral.

A deformação lateral apresentada na Figura 4.4 acima tem uma proposta diferente das demais apresentadas até o momento. Um de seus objetivos é ajudar aquele usuário que tem pouquíssima informação do local de seu destino, para isso fornecemos ao usuário o contexto global de seus arredores ao invés da direção em que ele está seguindo.

4.1.4 Transparência

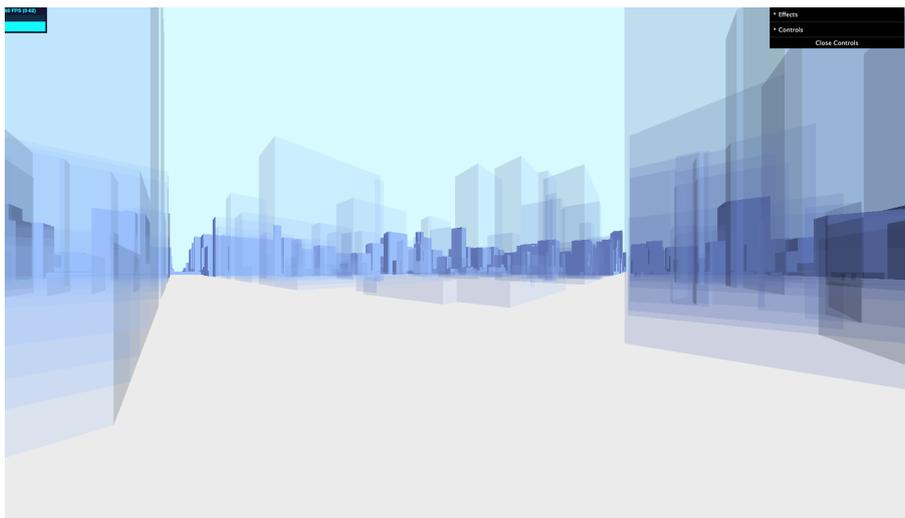


Figura 4.5 Representação de um ambiente virtual com transparência aplicada.

Conforme podemos observar na Figura 4.5 ao reduzir a opacidade dos elementos ao redor do usuário conseguimos fornecer um pouco mais de contexto global ao redor do usuário sem alterar nenhuma geometria, porém, dificultando a compreensão de seu contexto local. Ao compararmos este resultado com o obtido na Figura 4.1, notamos como a oclusão que existia nas laterais diminuiu substancialmente, tornando possível a compreensão dos elementos não transparentes presentes na visualização. O objetivo deste método é auxiliar o usuário em cenários com uma grande densidade de construções, tal que as deformações sejam pouco eficazes para fornecer o contexto a uma média distância.

4.2 Combinação de efeitos

Como apresentado na seção anterior, cada efeito possuía vantagens e desvantagens bastante claras. Logo, para aumentar o número de cenários decidimos combinar cada deformação com a transparência. Desse modo, visamos aproveitar a característica forte das deformações, o contexto global, simultaneamente à diminuição da oclusão local fornecida pela técnica da transparência.

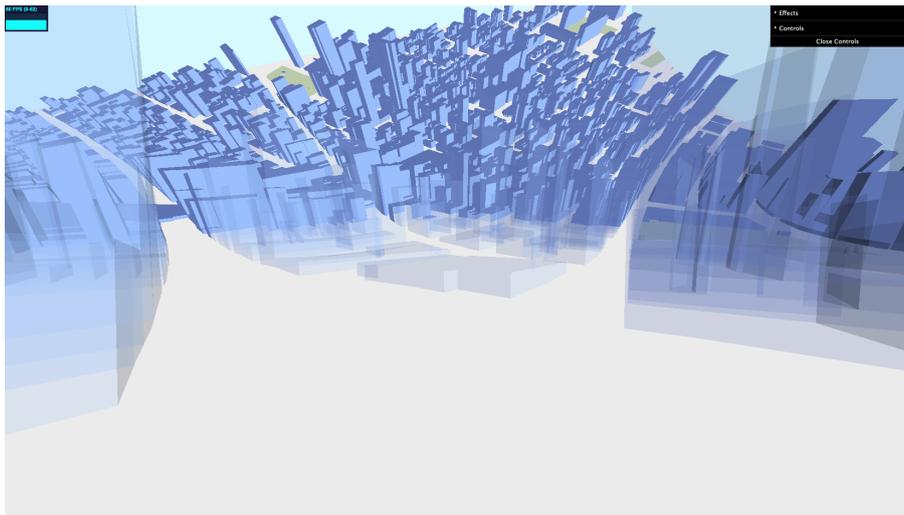


Figura 4.6 Representação de um ambiente virtual com deformação cilíndrica frontal e transparência aplicadas.

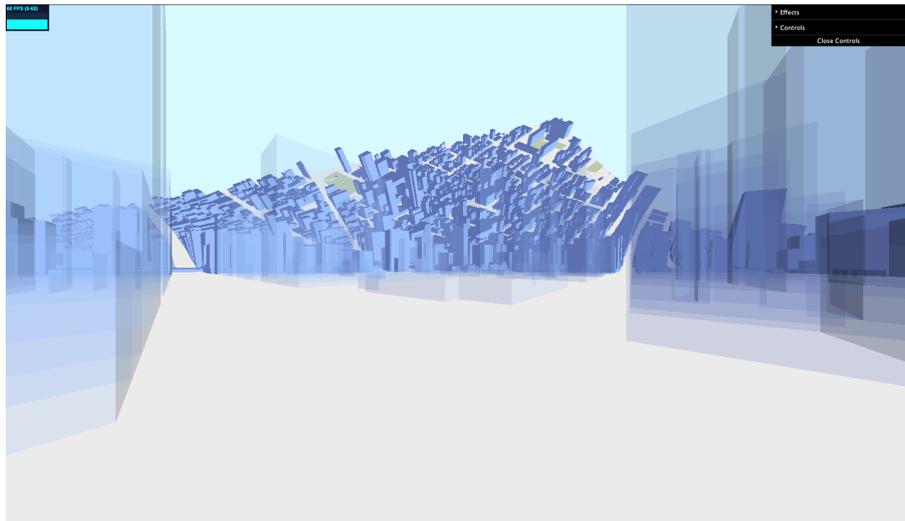


Figura 4.7 Representação de um ambiente virtual com deformação cilíndrica frontal com distância e transparência aplicadas.

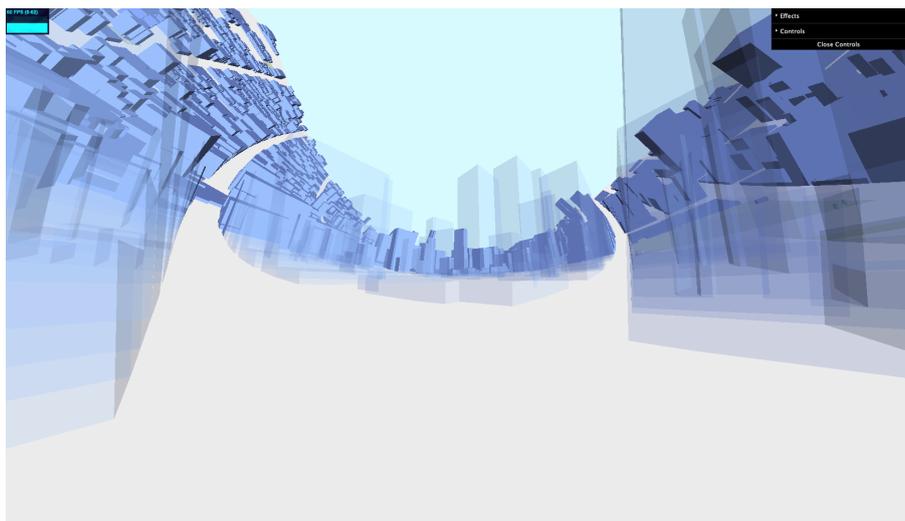


Figura 4.8 Representação de um ambiente virtual com deformação cilíndrica lateral e transparência aplicadas.

Como podemos observar nas Figuras 4.6, 4.7 e 4.8 conseguimos alcançar um bom resultado ao combinar as estratégias. Se compararmos os resultados aqui obtidos com os das Figuras 4.2, 4.3 e 4.4, respectivamente, podemos notar o quanto a diminuição da oclusão local favoreceu a compreensão do contexto global. Especialmente, ao compararmos 4.8 e 4.4 conseguimos agora ter acesso à deformação que aconteceu do lado direito da cena, que antes estava completamente escondida. Outro cenário que surge ao aliarmos a deformação lateral com transparência é que podemos fornecer contexto para usuários que, por exemplo, estão seguindo por uma longa e

retilínea avenida. Nesse caso, a oclusão frontal é baixíssima, portanto, existe um maior valor em proporcionar o contexto de suas redondezas, como podemos constatar no comparativo entre as Figuras 4.9 e 4.10 a seguir.

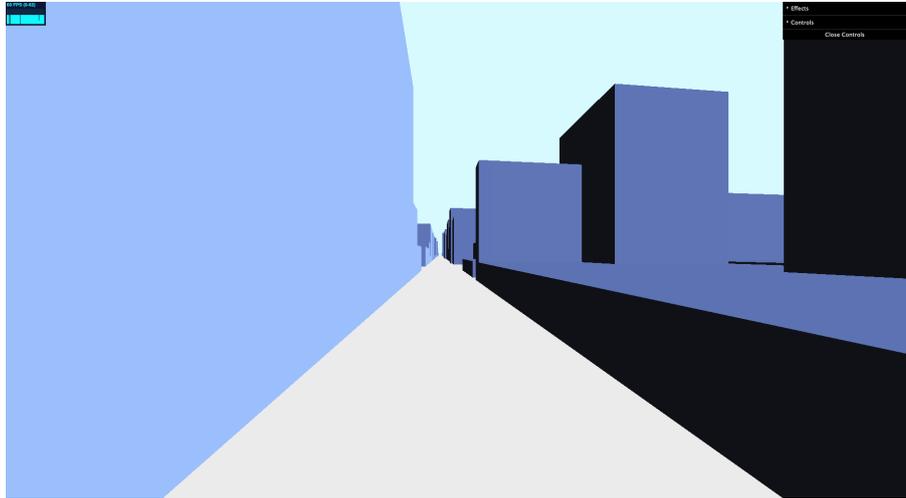


Figura 4.9 Representação de uma avenida em que a maior oclusão acontece nas laterais.

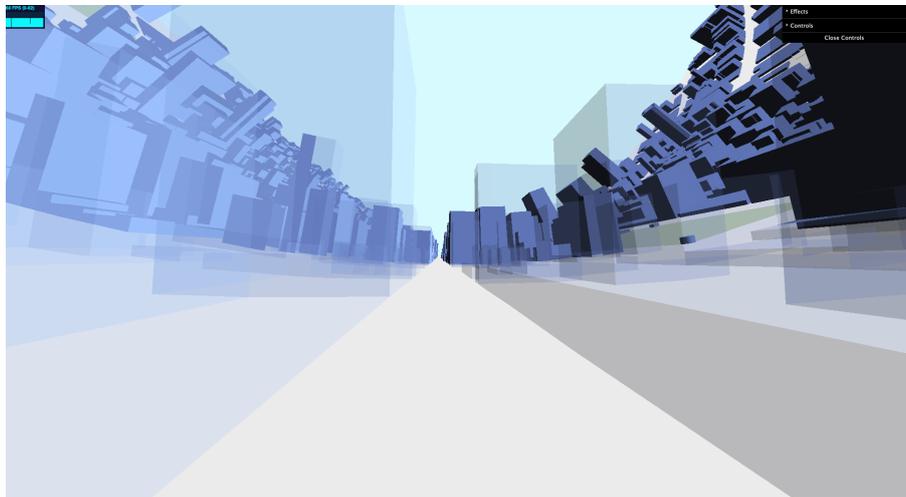


Figura 4.10 Ao aplicarmos transparência com deformação lateral conseguimos fornecer muito do contexto global que estava escondido anteriormente.

Conclusão

Nesse trabalho, apresentamos novas técnicas para auxiliar a navegação em ambientes virtuais tridimensionais urbanos. Ao reproduzirmos o trabalho proposto em [5] conseguimos, a partir dele, desenvolver novas técnicas que criaram um bom repertório para auxiliar em vários cenários de *wayfinding* focados na visão terrestre, diminuindo a necessidade de mudança de perspectiva. Através da utilização da deformação frontal com distância conseguimos praticamente zerar a deformação no contexto local e diminuir a do contexto global. Isso pode ser importante em cenários nos quais o formato dos edifícios e construções ao redor do usuário sejam de grande importância. A deformação lateral nos oferece uma alternativa para cenários de pouca obstrução frontal, como longas avenidas, ou para cenários nos quais o usuário tem pouca ou nenhuma informação da localização do seu ponto de destino. Para resolver o problema de grande oclusão local para arredores muito densos a utilização da transparência se mostrou bastante eficaz. Ao limitarmos esta técnica a apenas uma área ao redor do usuário, conseguimos diminuir a oclusão local sem prejudicar as informações presentes no contexto global. Além disso, a combinação das deformações com transparências se mostrou bastante promissora, por aliar os pontos positivos das técnicas sem um ônus muito claro.

Este trabalho foi desenvolvido num ambiente web tridimensional, conseguindo rodar com boa eficiência em boa parte dos computadores modernos. Desse modo, conseguimos torná-lo mais acessível para usuários e futuros testes. No entanto, a utilização de realidade virtual, *VR*, pode ser interessante para aumentar a imersão do usuário no ambiente. A biblioteca *three.js* nos fornece possibilidades de tornar aplicações compatíveis com *VR* com pouca modificação do código base, sendo uma boa ideia para trabalhos futuros.

Como trabalhos futuros, pretendemos realizar um teste com usuários validar a eficácia das variações propostas neste trabalho. Para tanto, planejamos estabelecer pontos de destinos que serão destacados no mapa e iremos capturar informações de interação do usuário com o ambiente no trajeto da origem até o objetivo. Deste modo, podemos criar um estudo quantitativo para entender como fatores como tamanho da cidade renderizada; densidade e altura dos prédios; proximidade do ponto de destino do usuário ou proximidade do ponto de destino de pontos de referência, como o *Empire States*, influenciam na qualidade do *wayfinding* de acordo com cada técnica. Gostaríamos de ressaltar que já foi implementada a infra-estrutura para a realização de tal teste. Entretanto, o curto tempo para a realização deste trabalho não nos permitiu realizar a coleta e a análise de dados dos usuários. Adicionalmente, a implementação de transparência com outras estratégias, como selecionar os prédios que você quer tornar transparente manualmente ou aplicá-la apenas para construções que possuam uma determinada altura dentro do raio ao redor do usuário é uma outra direção que pretendemos investigar. Como última sugestão, acreditamos que a renderização de ambientes mais detalhados, que possuam texturas, por

exemplo, possam auxiliar o usuário na atividade de localização de pontos de interesse, podendo ser bastante interessante para aumentar a qualidade do *wayfinding* de nossos usuários.

Referências Bibliográficas

- [1] Benjamin Avery, Christian Sandor, and Bruce H. Thomas. Improving spatial perception for augmented reality x-ray vision. In *2009 IEEE Virtual Reality Conference*. IEEE, March 2009.
- [2] Michael Batty, Martin Dodge, Simon Doyle, and A Hudson-Smith. Modelling virtual urban environments. 1998.
- [3] Patrick Baudisch, Nathaniel Good, Victoria Bellotti, and Pamela Schraedley. Keeping things in context. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems Changing our world, changing ourselves - CHI '02*. ACM Press, 2002.
- [4] Doug A Bowman, Ernst Kruijff, Joseph J LaViola, and Ivan Poupyrev. An introduction to 3-d user interface design. *Presence*, 10(1):96–108, 2001.
- [5] Shaoyu Chen, Fabio Miranda, Nivan Ferreira, Marcos Lage, Harish Doraiswamy, Corinne Brenner, Connor Defanti, Michael Koutsoubis, Luc Wilson, Kenneth Perlin, and Claudio T. Silva. UrbanRama: Navigating cities in virtual reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, pages 1–1, 2021.
- [6] Andy Cockburn, Amy Karlson, and Benjamin B. Bederson. A review of overview+detail, zooming, and focus+context interfaces. *ACM Computing Surveys*, 41(1):1–31, January 2009.
- [7] Carmine Elvezio, Mengu Sukan, Steven Feiner, and Barbara Tversky. Travel in large-scale head-worn vr: Pre-oriented teleportation with wims and previews. In *2017 IEEE Virtual Reality (VR)*, pages 475–476. IEEE, 2017.
- [8] Nivan Ferreira, Marcos Lage, Harish Doraiswamy, Huy Vo, Luc Wilson, Heidi Werner, Muchan Park, and Claudio Silva. Urbane: A 3d framework to support data driven decision making in urban development. In *2015 IEEE Conference on Visual Analytics Science and Technology (VAST)*. IEEE, October 2015.
- [9] William Jepson, Robin Liggett, and Scott Friedman. Virtual modeling of urban environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 5(1):72–86, 1996.
- [10] Thomas Ortner, Johannes Sorger, Harald Steinlechner, Gerd Hesina, Harald Piringer, and Eduard Groller. Vis-a-ware: Integrating spatial and non-spatial visualization for visibility-aware urban planning. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 23(2):1139–1151, February 2017.

- [11] Sebastian Pasewaldt, Amir Semmo, Matthias Trapp, and Jürgen Döllner. Towards comprehensible digital 3d maps. 2012.
- [12] Sebastian Pasewaldt, Matthias Trapp, and Jürgen Döllner. Multiscale visualization of 3d geovirtual environments using view-dependent multi-perspective views. 2011.
- [13] Randy Pausch, Tommy Burnette, Dan Brockway, and Michael E. Weiblen. Navigation and locomotion in virtual worlds via flight into hand-held miniatures. In *Proceedings of the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH '95*. ACM Press, 1995.
- [14] Maxim Spur and Vincent Turre. Urban datasphere: Exploring immersive multiview visualizations in cities. In *IEEE VIS*, 2018.
- [15] Ramón Trueba, Carlos Andujar, and Ferran Argelaguet. Complexity and occlusion management for the world-in-miniature metaphor. In *International Symposium on Smart Graphics*, pages 155–166. Springer, 2009.