

# Laboratório VISGRAF

Instituto de Matemática Pura e Aplicada

**Avaliação Experimental de uma Modelagem para Simulator  
Sickness**

*Vitor Balbio, Alexandre Sena, Rosa Maria Costa  
Djalma Lucio (suporte tecnico), Luiz Velho (supervisor)*

Technical Report    TR-17-08    Relatório Técnico

June - 2017 - Junho

The contents of this report are the sole responsibility of the authors.  
O conteúdo do presente relatório é de única responsabilidade dos autores.

# Avaliação Experimental de uma Modelagem para Simulator Sickness

Vitor Balbio da Silva

Alexandre Da Costa Sena

Rosa Maria E. Moreira da Costa

## Resumo

Este trabalho apresenta os resultados de experimentos realizados no VISGRAF – IMPA, que tiveram como objetivo avaliar uma ferramenta de análise de *Simulator Sickness* em ambientes virtuais tridimensionais. A ferramenta usa um modelo matemático/computacional da Simulator Sickness e avalia, em tempo real, a ocorrência de situações indicadas pela SRT (*Sensory Rearrangement Theory*) [4] como causadores da Simulator Sickness, permitindo assim, obter informações mais precisas sobre a segurança e conforto de aplicações de realidade virtual no ambiente de desenvolvimento.

## 1. Introdução

Apesar de todo apelo que a tecnologia de realidade virtual gera para o público e o grande avanço em software e hardware ocorrido nos últimos anos, um grave problema permanece em aberto. Aplicações de realidade virtual, em diversas situações, ainda causam sintomas desagradáveis, em um efeito conhecido como *Simulator Sickness*, que provoca náusea, desorientação, estresse visual e, por vezes, pode inviabilizar totalmente a experiência de utilização desse tipo de tecnologia.

*Simulator Sickness* não é um tópico de pesquisa recente e seus efeitos vêm sendo estudados com maior ou menor interesse durante as últimas décadas em áreas como psicologia [1], aeroespacial [2], medicina [3], entre outros. Estudos apontam que de 30% a até 80% da população pode ser suscetível a esses efeitos [4] e, apesar dos sintomas fisiológicos da *Simulator Sickness* diminuírem com a exposição contínua [5] e não causarem sequelas permanentes conhecidas [4], podem constituir um problema para a área de saúde, considerando o aumento da disponibilidade desses dispositivos em maior escala para grupos de risco como crianças, adolescentes e idosos.

Do ponto de vista do desenvolvimento de aplicações de realidade virtual, os métodos de detecção da Simulator Sickness, atualmente empregados, ou possuem pouca confiabilidade analítica (por exemplo com a utilização de questionários e/ou entrevista com usuários), ou requerem a utilização de equipamentos externos de medição, como medidores de batimentos cardíacos.

Nossa proposta, por outro lado, apresenta um modelo matemático/computacional da *Simulator Sickness*[6], além de sua implementação em uma ferramenta de análise em tempo real, o *Simulator Sickness Analyser - SSA* (Figura 1), voltado para avaliação de aplicações de realidade virtual utilizando

*Head Mounted Displays* – HMDs. A ferramenta permite aos desenvolvedores avaliarem, em tempo de execução, que elementos, momentos e ou funcionalidades do aplicativo provocam as situações indicadas pela SRT (*Sensory Rearrangement Theory*) [4], como causadores da *Simulator Sickness*.

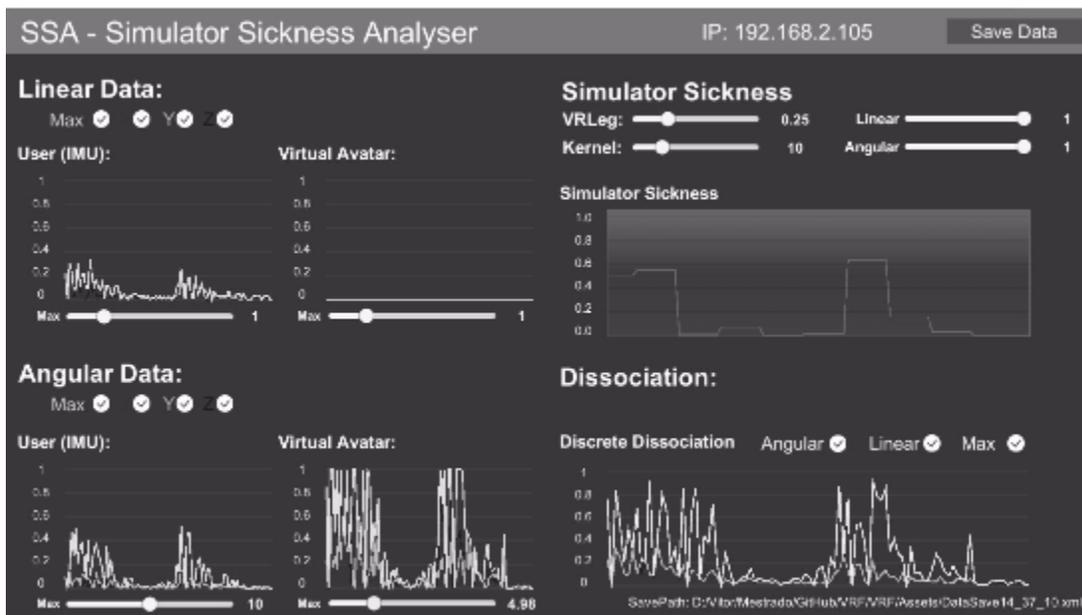


Figura 1 - SSA (*Simulator Sickness Analyser*)

Para a avaliação do modelo matemático e da ferramenta foi elaborada uma série de testes com voluntários em situações de maior e menor exposição à *Simulator Sickness*. Esses experimentos foram realizados nas instalações e em parceria com o VISGRAF – IMPA.

## 2. Metodologia

Para a avaliação do sistema foi desenvolvida uma série de experimentos com voluntários e tiveram como principal objetivo, avaliar a capacidade do SSA de indicar analiticamente, situações que manuais de boas práticas de uso de HMDs indicam empiricamente, como sendo causadores da *Simulator Sickness*. Por possivelmente sujeitar os voluntários a reações adversas relativas à *Simulator Sickness*, os experimentos foram submetidos e aprovados previamente pelo comitê de ética da UERJ.

Os experimentos se concentraram em 3 áreas de avaliação:

- Avaliação de *Simulator Sickness* em modelos com locomoção;
- Avaliação de *Simulator Sickness* em aplicações sem locomoção;
- Avaliação de latência.

Para esses experimentos foram selecionados 6 voluntários, sendo 4 homens e 2 mulheres, com níveis variados de experiência com HMDs de realidade virtual e idades entre 23 e 56 anos. Todos os testes foram realizados com o Samsung Galaxy S7 configurado no modo de desenvolvedor do GearVR, para utilização do display de baixa persistência e utilizando o HMD BoboVRZ4 que utiliza o padrão

Google Cardboard. Também foi utilizado para os testes de *Positional Tracking* o sistema *Optitrack* disponibilizado pelo IMPA/VISGRAF (Figura 2).



Figura 2 - Laboratório do VISGRAF com sistema *Optitrack* de *Positional Tracking*

Durante os experimentos cada um dos voluntários se submeteu a uma sessão de testes de 2 minutos cada. Depois de cada sessão o voluntário respondeu uma adaptação do *Simulator Sickness Questionary* – SSQ, que está sendo utilizado como parâmetro para comparação dos dados obtidos.

Previamente, a cada grupo de experimentos foi executado um protocolo de calibração do sistema. O protocolo de configuração do SSA consiste em encontrar os valores de normalização. Ou seja, os valores máximos de aceleração linear e angular do aplicativo e do usuário. Como esses valores podem ser arbitrários é necessário uso de bom senso para sua calibração, conforme o tipo da aplicação. O protocolo proposto possui 4 etapas:

- Encontrar o valor de Aceleração Linear do Avatar;
- Encontrar o melhor valor de aceleração linear do usuário relativo ao anterior;
- Encontrar o valor de Aceleração Angular do Usuário;
- Encontrar o melhor valor de aceleração angular do avatar relativo ao anterior.

O objetivo geral do processo de calibragem é causar no gráfico os seguintes comportamentos:

- Quando o valor de aceleração do usuário e do avatar for máximo, o gráfico será máximo;
- Quando não existir dissociação óbvia, como por exemplo, a provocada pela falta de *Positional Tracking*, então o gráfico de dissociação e de *Simulator Sickness* deve ser mínimo.

A seguir são apresentados e discutidos os experimentos realizados.

### 3. Avaliação de dissociação em modelos de locomoção

O objetivo desse experimento foi avaliar a SSA com base nas predições feitas pela SRT e nas avaliações empíricas disponibilizados pelos manuais de boas práticas dos HMDs, explorando diversos modelos de locomoção. Para isso foram comparados 3 modelos de navegação nos ambientes virtuais:

- Locomoção com Teletransporte;
- Locomoção através de um *Joystick*;
- Locomoção direta com *Positional Tracking*.

O primeiro teste realizado foi o de Locomoção utilizando teletransporte. Nesse teste, os voluntários foram orientados a encontrar e se locomoverem, com teletransporte, utilizando um *gaze pointer*, para um alvo localizado no chão (Figura 3). Cada vez que o usuário se teletransportava para o alvo, uma nova localização era gerada randomicamente. O diâmetro de movimentação do alvo pelo cenário era de 2 metros para mimetizar as limitações de espaço físico do teste de *Positional Tracking*.

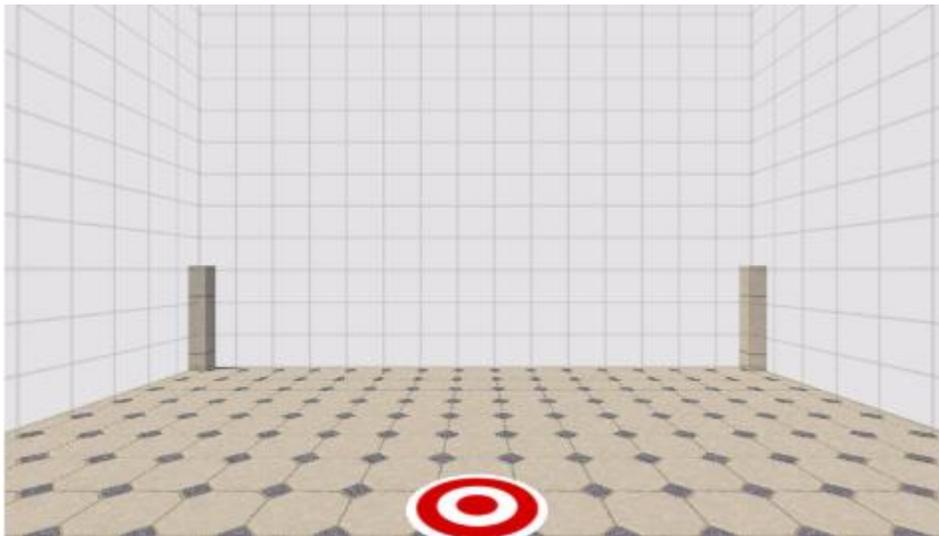
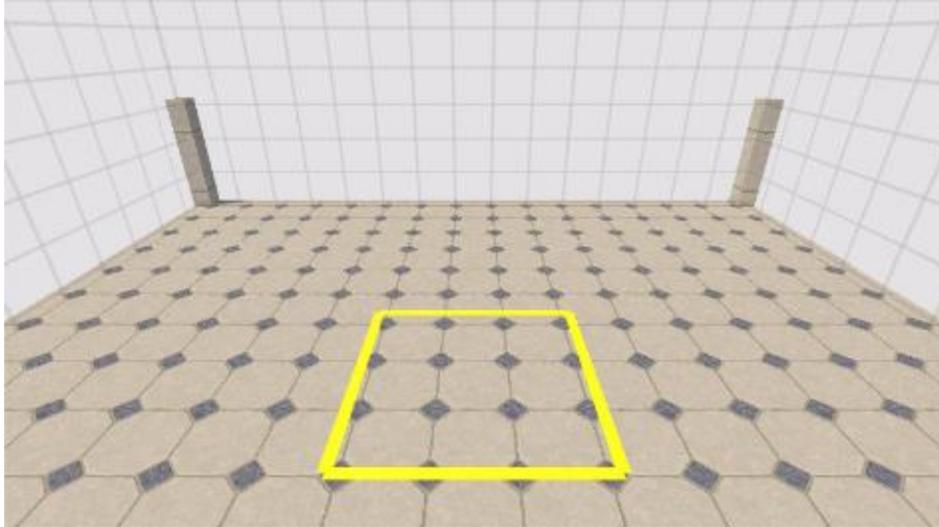


Figura 3- Experimento Locomoção com Teletransporte

O segundo teste executado foi o de Locomoção utilizando Joystick. Nesse experimento foi exibido um cenário com um caminho quadrado de 2x2 metros demarcados no chão (Figura 4). Os voluntários foram orientados a seguir essa demarcação utilizando um *Joystick* para movimentação. Quando o botão analógico era movido para frente o usuário acelerava para a direção apontada pelo *gaze pointer*. A altura do usuário em relação ao chão era fixa, para simular corretamente a sensação de caminhada e não de voo livre.

O terceiro e último experimento dessa sessão foi o de Locomoção utilizando *Positional Tracking*. Para esse experimento foi utilizado o sistema OptiTrack do IMPA/VISGRAF. Esse sistema de captura utiliza um conjunto de câmeras para triangular a posição de marcadores no ambiente. Todo o cálculo de rastreamento é executado em um servidor e foi passado para a aplicação por UDP unicast.



*Figura 4 – Ambiente utilizado no Experimento de controle com Joystick e Positional Tracking*

Cada um dos experimentos realizados com o SSA teve seus dados XML convertidos para formato de tabela e os seguintes dados extraídos:

- **Imi** - Intensidade Média de Simulator Sickness;
- **I50i** - Período de tempo durante o experimento em que a intensidade de Simulator Sickness foi maior do que 50%;
- **I90i** - Período de tempo durante o experimento em que a intensidade de Simulator Sickness foi maior do que 90%;
- **Im\_max** - Intensidade Média Máxima Entre todos os participantes;
- **Im\_min** - Intensidade Média Mínima entre todos os participantes;
- **Im** - Média das intensidades médias dos participantes;
- **I50\_max** - Período Máximo de Dissociação acima de 50% entre os participantes;
- **I50\_min** - Período Mínimo de Dissociação acima de 50% entre os participantes;
- **I50** - Período Médio de Dissociação acima de 50% entre os participantes;
- **I90\_max** - Período Máximo de Dissociação acima de 90% entre os participantes;
- **I90\_min** - Período Mínimo de Dissociação acima de 90% entre os participantes;
- **I90** - Período Médio de Dissociação acima de 90% entre os participantes.

### 3.1. Análise dos resultados

Os resultados da percepção dos voluntários sobre os efeitos do experimento foram obtidos por meio de uma adaptação do questionário SSQ (Apêndice 1) e as médias dos valores reportados para cada

experimento e sintomas, bem como a média final dos valores entre todos os sintomas, são apresentados na Figura 5.

SSQ	Voluntários		
	Teleportation	Joystick	Positional
Desconforto Geral	1,33	2,33	1,83
Fadiga	1,00	1,83	1,17
Cansaço Visual	1,83	2,67	1,67
Dificuldade de Foco	1,50	1,83	1,17
Salivação	1,00	1,67	1,00
Náuseas	1,67	2,17	1,17
Dificuldade de Concentração	1,00	2,00	1,33
Visão Borrada	1,33	2,00	1,33
Tontura	1,83	2,50	1,67
Desorientação Espacial	1,67	2,67	2,00
<b>Média</b>	<b>1,42</b>	<b>2,17</b>	<b>1,43</b>

Figura 5- Resultado do SSQ dos Voluntários nos 3 experimentos. O Questionário SSQ adaptado possui valores de 1 a 4 de intensidade para os sintomas da Simulator Sickness sendo: 1- Nenhum, 2 - Pouco, 3 - Moderado, 4 - Severo

A Figura 6 apresenta os dados dos experimentos com o SSA, explorando o modelo de locomoção baseado em teletransporte:

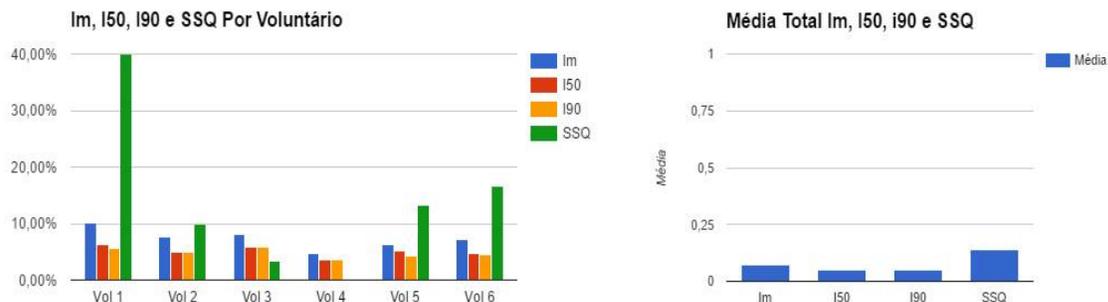


Figura 6-Resultado Experimento de locomoção usando a técnica de Teletransporte

Nesse experimento, a intensidade média de Simulator Sickness calculada pelo SSA ficou em 7,38%. Os voluntários foram expostos a Simulator Sickness com intensidade acima de 50% apenas durante

5,09% do tempo e acima de 90% de intensidade apenas durante 4,80% do tempo do experimento em média. Já o questionário SSQ dos voluntários apresentou um valor médio 1,42, com prevalência dos itens Tontura: 1,83 e Desorientação Espacial: 1,67.

A Figura 7 apresenta os dados dos experimentos com o SSA usando modelos de locomoção com Joystick.

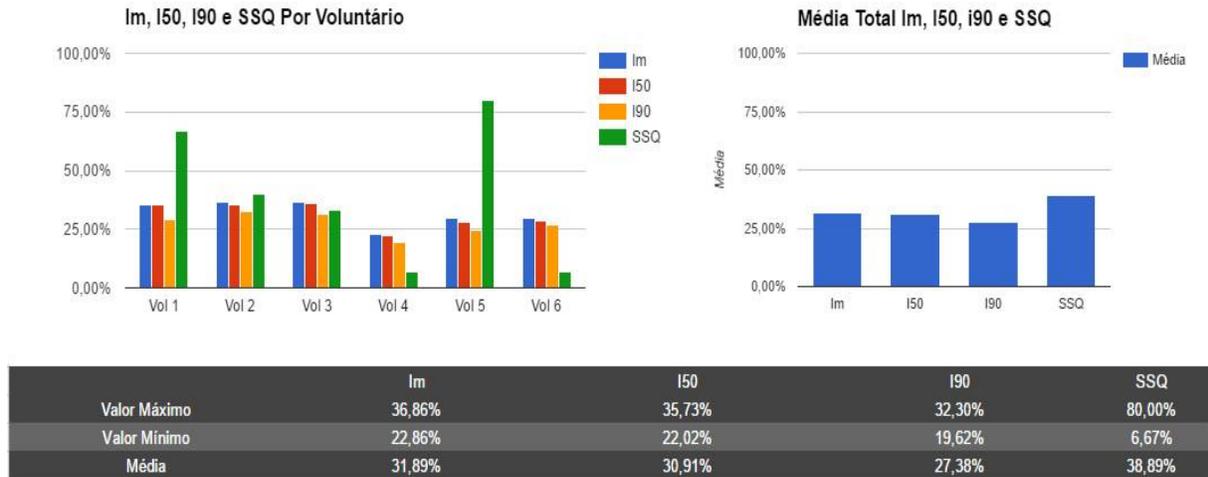


Figura 7- Resultado Experimento usando modelo de locomoção com Joystick

A intensidade média de Simulator Sickness calculada pelo SSA ficou em 31,89%. Os voluntários foram expostos a Simulator Sickness com intensidade acima de 50% durante 30,91% do tempo e acima de 90% de intensidade durante 27,38% do tempo do experimento em média. Para esse experimento, a média do questionário SSQ dos voluntários é de 2,17, com prevalência para os quesitos Desorientação Espacial: 2,67 e Cansaço Visual: 2,67.

A Figura 8 apresenta os dados dos experimentos com o SSA, usando modelo de locomoção com *Positional Tracking*.

A intensidade média de Simulator Sickness calculada pelo SSA ficou em 1,96%. Os voluntários foram expostos a Simulator Sickness com intensidade acima de 50% durante apenas 0,28% do tempo e acima de 90% de intensidade durante 0,08% do tempo do experimento em média.

A média do questionário SSQ dos voluntários para esse experimento é de 1,43 com prevalência para os quesitos Desorientação Espacial: 2,0 e Tontura: 1,67.

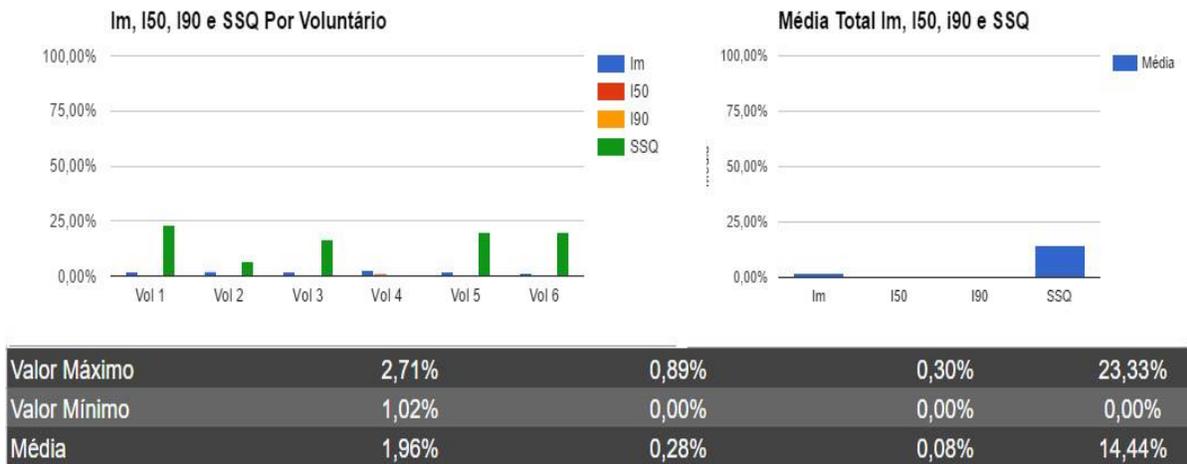


Figura 8 - Resultado Experimento Positional Tracking

Esses dados possibilitam observar alguns fatos relevantes. Em um ambiente com *Positional Tracking* e *Head Tracking* a dissociação entre o usuário e o avatar virtual foi minimizada, sendo apenas causada por ruídos, latência natural do sistema e correções de sensor *fusion*, logo, esse foi o cenário de menor dissociação, de acordo com a SRT. O SSA corretamente apontou esse cenário como o de menor dissociação e menor *Simulator Sickness*, durante os experimentos com uma intensidade média de apenas 1.96%. Nos experimentos, também foi verificado uma intensidade de *Simulator Sickness* acima de 50% apenas durante 0,28% do tempo do experimento e em somente 0,08% do tempo, ela esteve acima de 90% de intensidade. O gráfico do experimento que mostra o nível de *Simulator Sickness* ao longo do tempo de um dos voluntários pode ser visto na Figura 9.

É importante ressaltar que o nível de *Simulator Sickness* é baixo, ou nenhum, na maior parte do tempo. Os picos de dissociação, nesse caso, são causados por ruído dos IMUs, falha de comunicação, latência e outros fatores externos.

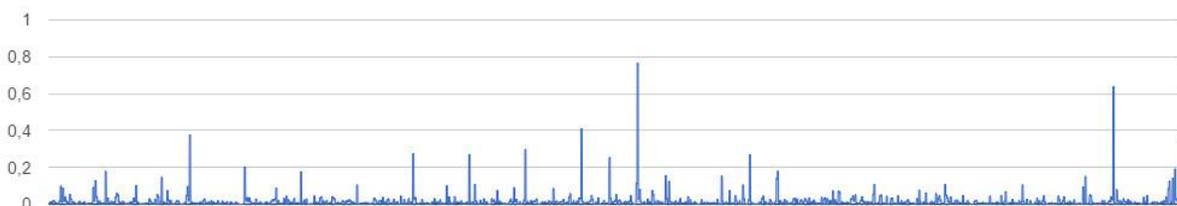


Figura 9– Gráfico de Simulator Sickness de um dos voluntários durante o experimento de Positional Tracking

A SRT prevê também, que os sistemas de teletransporte apresentariam níveis de dissociação aceitáveis. Isso se deve à baixa aceleração linear do usuário (que está em uma posição relativamente estável no ambiente, por exemplo em pé, ou em uma cadeira) e à aceleração durante curtíssimos períodos de tempo (16 milissegundos correspondente a um frame) por parte do avatar, quando executando o teletransporte. Novamente, a SSA foi capaz de corresponder a essa predição da teoria. Em nossos experimentos, averiguamos uma intensidade média de *Simulator Sickness* de apenas 7,38%. Apenas durante 4,88% do tempo de experimento, a intensidade ultrapassou mais do que 90% de

*Simulator Sickness*, o que corresponde exatamente, aos picos de aceleração causados pelo teletransporte.

Para o modelo de locomoção utilizando *Joystick*, com um personagem que possui aceleração, a SRT prevê uma grande quantidade de *Simulator Sickness*, já que, durante todo o período de locomoção, seria aplicada uma aceleração ao avatar virtual, que não possui correspondência com os movimentos do usuário. O SSA também verificou uma grande quantidade de *Simulator Sickness* média assim como, previsto pela SRT com 31% de intensidade média, sendo que durante 30,91% do tempo do experimento, ela esteve acima de 50% , sendo que em 27% do tempo teve intensidade acima de 90%. Ou seja, em aproximadamente 30% do tempo do experimento, o usuário esteve sob efeito das condições que a SRT prevê que sejam causadoras da *Simulator Sickness*. O gráfico do experimento de um dos voluntários pode ser visto na Figura 10.

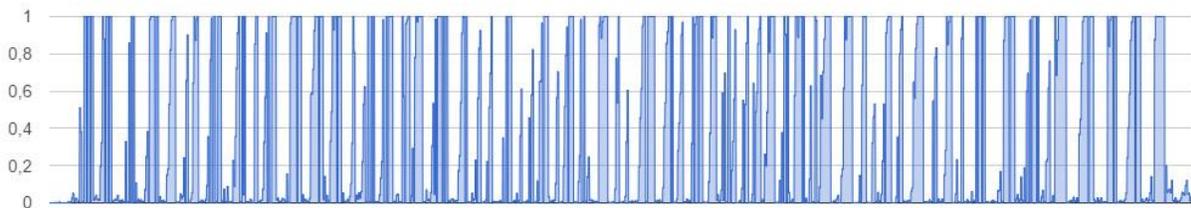


Figura 10 - Gráfico de *Simulator Sickness* de um voluntário durante no experimento de locomoção com *Joystick*

Aplicando normalização e convertendo os valores SSQ para porcentagem, usando a fórmula  $SSQ\_percent = ((SSQ-1) / 3 * 100)$ , temos o valor de aproximadamente 14% de intensidade nos testes de Teletransporte e *Positional Tracking*. Ou seja, erro de 6,51 pontos percentuais para os valores médios, obtidos no experimento SSA de Teleporte e 12,48 pontos percentuais para o teste de *Positional Tracking*. O que pode ser considerado como uma correspondência significativa, principalmente, considerando as limitações do SSQ para representar medições analíticas.

A intensidade de *Simulator Sickness* medida pelo SSA para um usuário padrão com 50% de VRLeg seria virtualmente nula para os experimentos de *Positional Tracking* e de aproximadamente 3% , para o de Teletransporte. Essa avaliação é corroborada pelas respostas dos usuários no questionário SSQ. Analisando os dados, podemos verificar que as experiências de Teletransporte e *Positional Tracking* se mostraram equivalentes em relação aos sintomas de *Simulator Sickness* avaliados pelos usuários no SSQ, com valores médios entre 1 (Nenhum) e 2 (Pouco), assim como obtido pelos resultados do SSA para um usuário padrão.

Alguns pontos a serem destacados relacionam-se à maior intensidade de Desorientação Espacial e desconforto geral enquanto utilizando a navegação via *Positional Tracking*. Podemos supor que isso se deva ao fato de que, nesse experimento, o usuário precisar andar fisicamente no ambiente olhando para baixo, o que normalmente, pode ser considerado uma experiência desconfortável, independente do uso do HMD. Foi observado que, durante a experiência com Teletransporte, os níveis de tontura causados foram altos. Talvez isso tenha sido causado pela necessidade de realizar muitos giros com o corpo e cabeça, para localizar a posição do alvo a cada novo Teletransporte.

Sobre o experimento com *Joystick*, os usuários relataram no questionário SSQ, valores de intensidade médio de valor 2,17, ou seja, intensidades entre 2 (Pouco) e 3 (Moderado). Normalizando e convertendo esse valor em porcentagens, obtivemos um valor de 39% de intensidade dos sintomas. Comparativamente, nosso sistema averiguou um nível médio de intensidade dos efeitos de 31,89%. Um erro de apenas 7 pontos percentuais entre os resultados obtidos pelo SSA e a percepção dos usuários sobre esse experimento.

Para os experimentos de locomoção obtivemos, portanto, um erro médio entre a percepção do usuário no questionário SSQ e o resultado analítico do SSA foi de 8.66. Dessa forma, pudemos observar que as medições do SSA corresponderam com alto grau de fidelidade às previsões da SRT e também, aos resultados analíticos da percepção dos usuários, quando averiguados em uma avaliação metodológica, como o questionário SSQ. Um resumo dos dados médios finais dos 3 experimentos é apresentado na Figura 11.

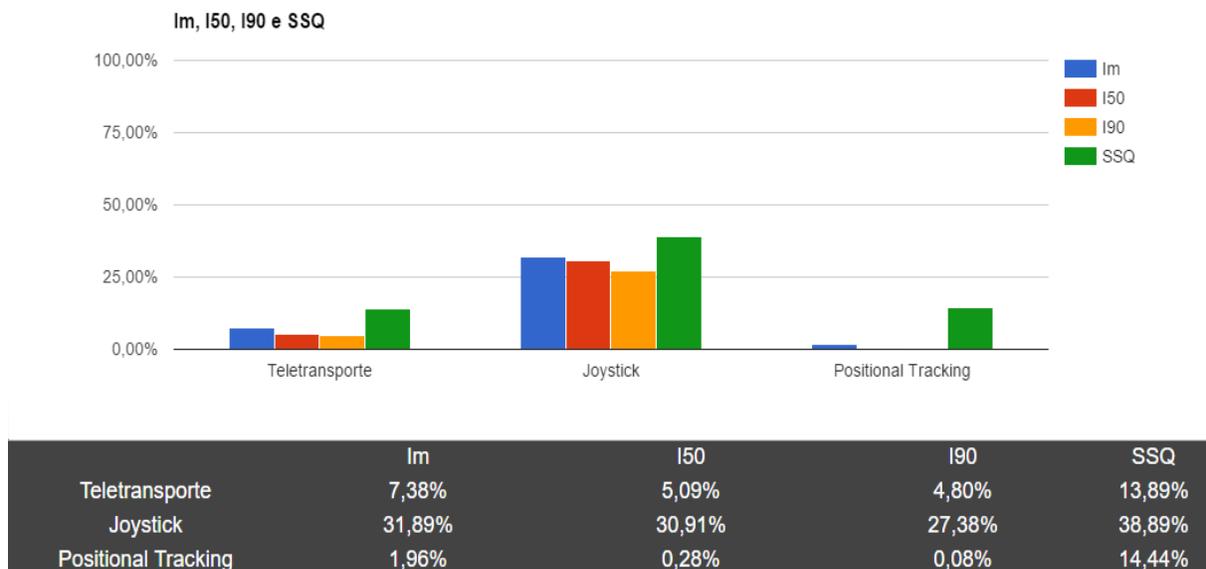


Figura 11- Resultados dos Experimentos de em Modelos de Locomoção

Curiosamente, quando pedido aos usuários para classificar livremente os experimentos com relação ao conforto como um todo (não somente em relação aos efeitos de *Simulator Sickness*), os resultados foram os seguintes:

- 100% dos voluntários consideraram o experimento 1 (Teletransporte) como o mais confortável;
- 83% considerou o experimento 3 (*Positional Tracking*) como o segundo mais confortável e o experimento 2 como o terceiro mais confortável);
- 17% (um voluntário) considerou o experimento com *joystick* mais confortável do que o com o *Positional Tracking*.

A partir desses resultados, observamos que outros fatores, além da *Simulator Sickness*, podem impactar em algum grau a percepção dos usuários sobre o conforto das aplicações em realidade virtual. Isso pode ser observado na avaliação livre, que apontou com unanimidade que o modelo de Teletransporte foi o mais confortável, mesmo nos casos em que os voluntários apontaram menos sintomas para o uso da técnica de *Positional Tracking* (isso ocorreu em 30% dos voluntários).

Essa avaliação dos usuários corrobora as recomendações de manuais de boas práticas que indicam que quanto menor a liberdade de locomoção do usuário, mais confortáveis essas experiências serão. Podemos especular que o sistema de *Positional Tracking*, apesar de minimizar os efeitos da *Simulator Sickness*, assim como previsto pela SRT, medido pela SSA e corroborado pelo SSQ, força o usuário a se deslocar fisicamente no ambiente real e isso pode ser entendido como menos confortável para os usuários, do que se manter parado no ambiente real e somente se teletransportar para as posições virtuais.

Uma avaliação sobre os efeitos da Simulator Sickness e conforto em ambientes, onde nenhum tipo de locomoção é adotado, é apresentado a seguir.

## 4. Avaliação de Aplicações Sem Locomoção

O objetivo desse experimento foi avaliar, utilizando o SSA, o impacto da dissociação angular e linear para verificar o nível de conforto na navegação em aplicações móveis de realidade virtual, onde o usuário mantém uma posição fixa no ambiente, como acontece na visualização de vídeos e alguns games. Esse modelo de experiência compõe o principal uso das aplicações móveis de realidade virtual e é indicado em avisos de segurança dos HMDs (Oculus Home para GearVR e Oculus Rift).

Dessa forma o objetivo deste teste é verificar a indicação dos manuais de usabilidade dos HMDs, de que as aplicações de realidade virtual com menor *Simulator Sickness* e mais confortáveis são as que o usuário não realiza nenhum tipo de locomoção. Essa sugestão é apontada no manual de boas práticas da Oculus [7]:

*“The most comfortable VR experiences involve no self-motion for the user besides head and body movements to look around the environment.” (Oculus, 2017).*

Para esse experimento foi desenvolvido um ambiente em realidade virtual onde os voluntários tinham como objetivo clicar (com *gaze pointer*) em alvos no cenário. Cada vez que o alvo era "clicado", sua posição no ambiente tridimensional era modificada randomicamente com distância máxima de 3 metros entre o ponto central do cenário. De forma análoga aos experimentos anteriores cada voluntário foi submetido a uma sessão de 2 minutos de navegação e em seguida, respondeu ao questionário SSQ. Foi respeitado um tempo mínimo de 15 minutos entre cada sessão dos voluntários. A Figura 12 apresenta o ambiente virtual do experimento.

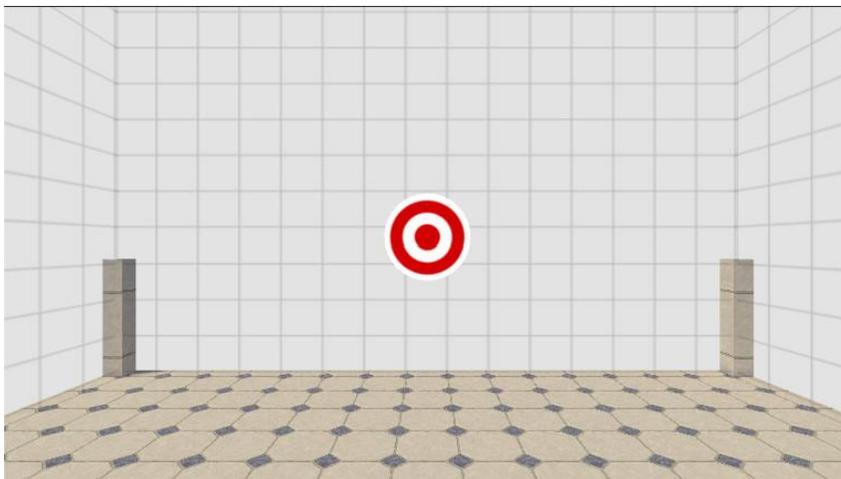


Figura 12 - Experimento Hit Target sem Locomoção

#### 4.1. Análise dos Resultados

As Figuras 13 e 14 apresentam os dados do SSA do experimento Hit Target sem Locomoção e o resultado do questionário SSQ, respectivamente.

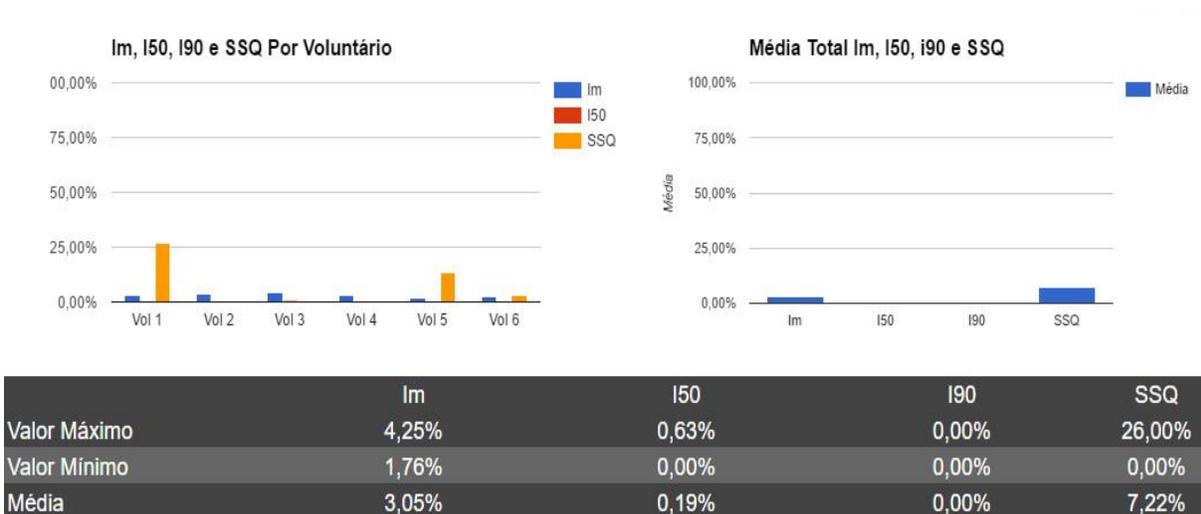


Figura 13- Resultado do Experimento Hit Target sem Locomoção

SSQ	Voluntários
Desconforto Geral	1,33
Fadiga	1,17
Cansaço Visual	1,33
Dificuldade de Foco	1,17
Salivação	1,00
Náuseas	1,17
Dificuldade de Concentração	1,17
Visão Borrada	1,17
Tontura	1,33
Desorientação Espacial	1,33
Média	1,22

Figura 14- Resultado do questionário SSQ dos voluntários no experimento Hit Target sem Locomoção, (Valores de 1 a 4 sendo: 1 - Nenhum, 2 - Pouco, 3 - Moderado e 4 - Severo)

O questionário SSQ dos voluntários apresenta um valor médio 1,22, com nenhum quesito ultrapassando a marca de 1,33.

Aplicando normalização e convertendo os valores SSQ para porcentagem, temos o valor de aproximadamente 7,3% de intensidade nesse experimento. Ou seja, um erro de apenas 4,17 pontos percentuais para os valores médios avaliados no SSA. Uma correspondência significativa, principalmente, considerando as limitações do SSQ para representar medições analíticas.

De forma geral, esse resultado corrobora as indicações dos manuais de boas práticas, que indicam as aplicações sem locomoção como confortáveis. Considerando um usuário padrão (VRLeg 50%) a medição do SSA seria praticamente nula, assim como, os experimentos de Teletransporte e de *Positional Tracking*. A Figura 15 apresenta o gráfico de *Simulator Sickness* do SSA obtido durante o experimento com um dos voluntários. É possível observar a baixa taxa de dissociação geral. Os picos de dissociação são causados principalmente, por eventuais movimentações do usuário que por não haver *Positional Tracking*, não são correspondidas pelo avatar virtual.

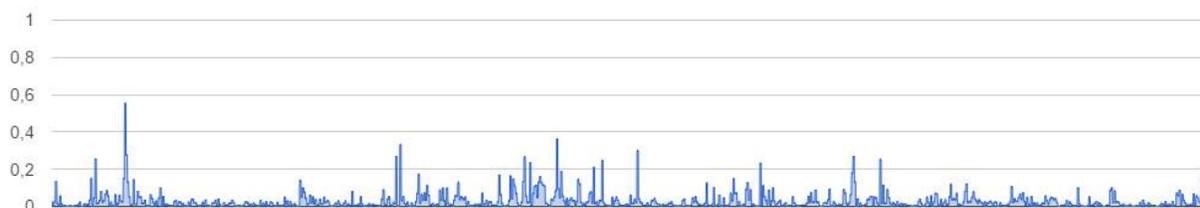


Figura 15- Gráfico de Simulator Sickness de um dos voluntários durante o experimento de Hit Target sem Locomoção

Infelizmente não foi questionado aos voluntários se esse experimento era o mais confortável no âmbito geral. Porém, extrapolando os dados do questionário SSQ, temos a avaliação analítica de que esse foi o experimento com menor índice de *Simulator Sickness*, apenas 7,3%, enquanto os outros 3 experimentos anteriores obtiveram: 14%, 39% e 14%, respectivamente.

## 5. Avaliação de Latência

O objetivo desse experimento foi verificar a capacidade do SSA de avaliar a latência de sistemas de realidade virtual. Segundo manuais de boas práticas [7] os valores de 20ms de latência são considerados aceitáveis para sistemas de realidade virtual. Enquanto esse tipo de avaliação não é o objetivo primeiro do SSA, as implicações de uma alta latência para o conforto da navegação em sistemas de realidade virtual ficam claras à luz da SRT. Nesse caso, a dissociação é a principal causa apontada da *Simulator Sickness*, logo avaliar essa característica do sistema é crucial para o conforto e segurança das aplicações de realidade virtual.

Para esse experimento foi utilizado o mesmo ambiente do experimento anterior, onde o usuário se mantém em um ponto fixo no ambiente virtual e tem de utilizar um *gaze pointer* para acertar um alvo, que muda de posição randomicamente quando é selecionado. Porém, foi introduzida uma latência artificial de 30 milissegundos a mais, entre os dados captados pelo HMD e o avatar virtual. Ou seja, no experimento com latência, os valores de normalização de aceleração angular, tanto do avatar quanto do usuário, foram modificados para uma maior sensibilidade do sistema. Isso se deve ao fato de que, como demonstrado adiante, os valores de aceleração normalmente aplicados a sistemas de *Head Tracking* são normalmente muito baixos, dificultando assim (por falta de amplitude numérica), a avaliação de propriedades mais evasivas, como a latência. Por esse motivo, foi decidido aumentar a sensibilidade do sistema para melhor avaliar esse parâmetro, mesmo tendo em vista que essa prática amplifica também, o ruído natural dos dados e a imprecisão dos resultados. Por esse motivo, foi impossível uma comparação direta entre esse experimento e os outros executados anteriormente.

As Figuras 16 e 17 apresentam os dados recolhidos pelo SSA e o resultado do questionário SSQ dos voluntários.

Análise de Dados de Simulator Sickness - Hit Targets com Delay			
	Intensidade Média Simulator Sickness	Simulator Sickness Maior do que 50%	Simulator Sickness Maior do que 90%
Valor Máximo	29,51%	26,57%	10,44%
Valor Mínimo	20,58%	15,17%	6,36%
Média	24,91%	20,25%	8,25%

Figura 16 - Resultado dos SSA dos voluntários durante o experimento com Latência artificial

SSQ	Voluntários
	Angular
Desconforto Geral	3,50
Fadiga	2,17
Cansaço Visual	3,83
Dificuldade de Foco	3,00
Salivação	1,83
Náuseas	2,67
Dificuldade de Concentração	3,00
Visão Borrada	1,67
Tontura	3,17
Desorientação Espacial	3,33
Média	2,82

Figura 17- Resultado do questionário SSQ dos voluntários para o experimento de Latência Artificial (Valores de 1 a 4 sendo: 1 - Nenhum, 2 - Pouco, 3 - Moderado e 4 - Severo)

O questionário SSQ dos voluntários apresenta um valor médio 2,82. Aplicando normalização e convertendo os valores SSQ para porcentagem, temos o valor de aproximadamente 60% de intensidade nesse experimento. Ou seja um erro de 35,1 pontos percentuais para os valores médios avaliados no SSA. Uma baixa correspondência mesmo com o aumento de sensibilidade do sistema.

De forma geral, esse resultado corrobora as indicações dos manuais de boas práticas, que indicam que altos valores de latência são uma das principais causas de Simulator Sickness. Entretanto é importante notar que todas as principais plataformas de realidade virtual comerciais hoje no mercado (GearVR, Cardboard, Daydream, HTC Vive e OculusRift), trabalham abaixo da latência recomendada de 20ms. Nosso experimento introduziu artificialmente a latência no sistema, com valores acima dos trabalhados por esses dispositivos. Logo em situações normais de utilização para os usuários finais, a latência dos sistemas de realidade virtual não seria uma das causas de *Simulator Sickness*.

Esse experimento, entretanto, também demonstrou que o SSA não é capaz de verificar com precisão a dissociação causada por latência geral, isso se deve a dois principais motivos:

- Primeiro, a latência natural do sistema não implica em altos valores de aceleração. Isso fica claro em situações onde a aceleração geral do usuário e do avatar são baixos. Mesmo quando o usuário possui valores arbitrariamente altos de latência, isso não implica em valores altos no gráfico de dissociação caso a aceleração do usuário e do avatar seja baixa. Um exemplo disso pode ser visto na Figura 18. Para compensar esse cenário, a solução adotada no experimento foi aumentar a sensibilidade geral do modelo com valores de normalização mais baixos do que os ideais. Isso resulta em outro problema, que é o aumento do nível de ruído geral aplicado na análise, levando a resultados que não possuem o mesmo nível de confiabilidade.

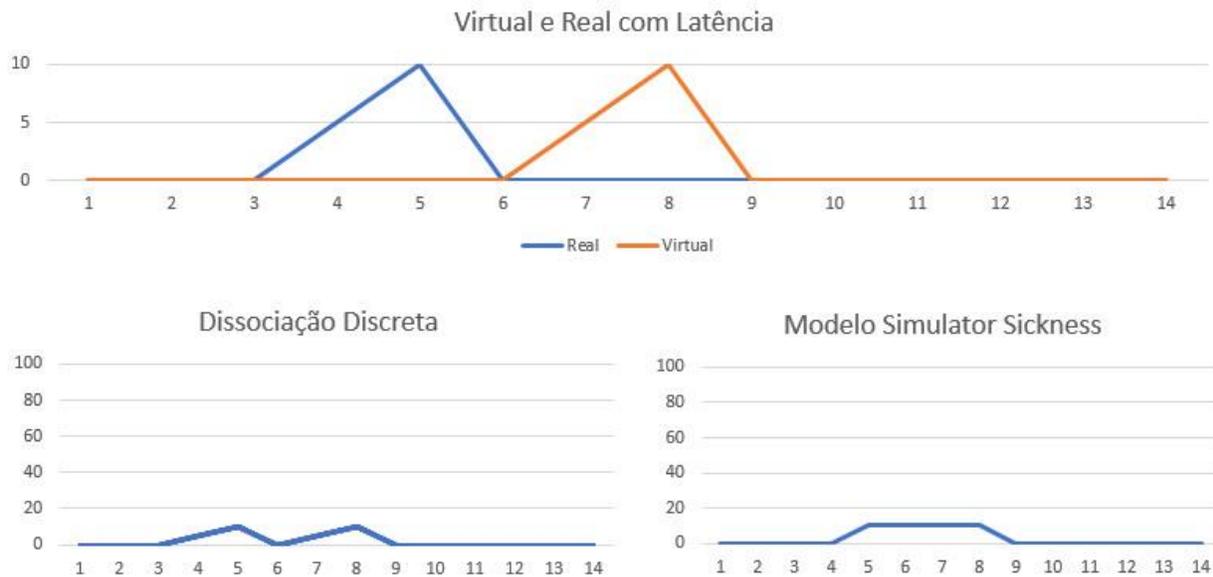


Figura 18 - Exemplo de situações onde a latência não implica em valores altos de Simulator Sickness no modelo

- O segundo problema diz respeito à própria resolução dos dados enviados pelo SSA. Atualmente, estamos trabalhando com 40 verificações por segundo, ou seja, uma verificação a cada 25 milissegundos. Considerando ainda, o tempo de envio dos dados do cliente para o servidor e outros processamentos realizados pelo SSA, fica claro que eventos que ocorrem em uma escala de tempo tão curta, como o fenômeno da latência, não podem ser corretamente averiguados pelo sistema.

De forma geral, a conclusão obtida é que no estágio atual de desenvolvimento, o SSA não é indicado para medição de latência de sistemas e a correta configuração dos valores de calibração é imprescindível para uma análise confiável dos fenômenos que se propõe verificar.

## 6. Conclusões

Dentre os diversos desafios para o desenvolvimento das tecnologias de realidade virtual o problema da *Simulator Sickness* se apresenta como um dos mais desafiadores, seja devido às suas origens biológicas, seja por sua manifestação individual em cada indivíduo. Os modelos atuais de avaliação da *Simulator Sickness* não suprem as necessidades dos desenvolvedores, de forma que os testes e o controle de qualidade, quando empregados, são baseados em medições posteriores, como no questionário SSQ, ou requerem equipamentos e conhecimentos externos ao meio, como análises fisiológicas.

Esse trabalho apresentou a SSA (Simulator Sickness Analyser) que pode ser considerada neste contexto, como uma ferramenta que pode ser utilizada por desenvolvedores para avaliar, em tempo real, aplicações de realidade virtual. Ela é baseada em um modelo matemático da *Simulator Sickness* e se propõe a identificar variáveis de aceleração linear e angular e variáveis de latência envolvidas no processo de navegação de usuários em ambientes virtuais tridimensionais. Em seguida, apresentou resultados de experimentos realizados com voluntários.

Este trabalho também apresentou as limitações do modelo e da ferramenta proposta quanto à medição da latência de sistemas de realidade virtual em seu último experimento. Como sugestão de trabalhos futuros apontamos alguns caminhos para melhorar a avaliação de latência:

- Aumentar a taxa de transmissão de dados;
- Aumentar a taxa de avaliação por segundo do analisador;
- Estabelecer (através de metrônomo, trimestamp ou outro tipo de marcador) uma correspondência entre os dados do acelerômetro/giroscópio e a posição/orientação do avatar virtual, permitindo a avaliação de latência, sem necessidade de usar a variável de aceleração;
- Testar outras funções de transferência diferentes da curva *Easy-In-Out*.

## 7. Referências Bibliográficas

[1] BARRETT, G. V.; THORNTON, C. L. Relationship between perceptual style and simulator sickness. *Journal of Applied Psychology, American Psychological Association*, v. 52, n. 4, p. 304, 1968.

[2] KENNEDY, R. et al. Simulator sickness in us navy flight simulators. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, v. 60, n. 1, p. 10–16, 1989.

[3] FANG, Y. et al. Eye-head coordination for visual cognitive processing. *PloS one, Public Library of Science*, . 10, n. 3, 2015.

[4] REBENITSCH, L.; OWEN, C. Review on cybersickness in applications and visual displays. *Virtual Reality, Springer*, v. 20, n. 2, p. 101–125, 2016.

[5] REASON, J. T. Motion sickness adaptation: a neural mismatch model. *Journal of the Royal Society of Medicine, Royal Society of Medicine Press*, v. 71, n. 11, p. 819, 1978.

[6] SILVA, V. et al. Framework para Debug e Controle de Simulation Sickness em Sistemas de Realidade Virtual. 2016. Disponível em: <http://www.sbgames.org/sbgames2016/downloads/anais/157405.pdf/>. (Acessado em 01/05/2017).

[7] OCULUSVR. Oculus Best Practices. 310-30000-02. ed. [S.l.]: OculusVR, 2016. Disponível em: [https://developer.oculus.com/design/latest/concepts/bp\\_app\\_motion/](https://developer.oculus.com/design/latest/concepts/bp_app_motion/). (Acessado em 01/05/2017).