

Um Meta-modelo para o Processo de Sistemas com RV: Perspectiva da Qualidade no Uso Provida por Princípios da IHC

Milena Marquezin Olher
Júnia Coutinho Anacleto Silva

DC - UFSCar

C. P. 676 - CEP 13565-905 - São Carlos - SP

(016) 260-8233 / 8618

{milena, junia}@dc.ufscar.br

Abstract

Software system quality can be considered under three perspectives: internal quality, external quality and quality in use. Considering the perspective of the quality in use, this paper analyzes the characteristics of software systems with Virtual Reality and of their process, mainly about the human-computer interaction style that the use of Virtual Reality technology want to provide and, starting from the discussion of the specific methodologies for these software systems, this article proposes a meta-model for the process of software systems with Virtual Reality that contemplates not only the perspectives of the internal quality and of the external quality, but also the perspective of the quality in use through Human-Computer Interaction principles, adopting and incorporating focus on the user, iterations of design and usability criteria for these software systems through the conception, design and implementation of software systems with Virtual Reality.

Keywords: Virtual Reality, Human-Computer Interaction, Quality in Use, Process of Software, Usability, Usability Criteria, Focus on the User e Iterations of Design.

Resumo

Qualidade de sistema de software pode ser considerada sob três perspectivas: qualidade interna, qualidade externa e qualidade no uso. Considerando a perspectiva da qualidade no uso, este artigo analisa as especificidades de sistemas de software com Realidade Virtual e as implicações no seu processo, principalmente no que concerne ao estilo de interação humano-computador que o emprego da tecnologia de Realidade Virtual objetiva prover e, a partir da apresentação e discussão das metodologias para esses sistemas de software, este artigo propõe um meta-modelo para o processo de sistemas de software com Realidade Virtual que contempla não apenas as perspectivas da qualidade interna e da qualidade externa, mas também a perspectiva da qualidade no uso através de princípios da Interação Humano-Computador, adotando e incorporando enfoque no usuário, iteratividade de projeto e critérios de usabilidade específicos para esses sistemas de software ao longo da concepção, projeto e implementação de sistemas de software com Realidade Virtual.

Palavras-chave: Realidade Virtual, Interação Humano-Computador, Qualidade no Uso, Processo de sistemas, Usabilidade, Critérios de Usabilidade, Enfoque no Usuário e Iteratividade de Projeto.

1. INTRODUÇÃO

O modelo de qualidade desenvolvido pela ISO/IEC 9126-1 apresenta três diferentes perspectivas para a qualidade de sistema de software (sistema) [2]: 1) qualidade interna, mensurada através das propriedades estáticas do código do sistema, 2) qualidade externa, medida através das propriedades dinâmicas do código do sistema quando executado e 3) qualidade no uso, mensurada através da extensão na qual o sistema atende as necessidades do usuário em um ambiente de uso. A perspectiva da qualidade no uso é a eficiência, produtividade e satisfação do usuário ao realizar tarefas representativas em um ambiente de uso realístico, ou seja, é a visão da qualidade do sistema a partir do ponto de vista do usuário. O alcance a essa perspectiva pode ser considerado como um dos maiores objetivos no processo de sistemas interativo, pois visa que o sistema desenvolvido possa ser usado para o propósito pretendido [1][2].

Nesse contexto, sistema de software com interface com o usuário baseada na tecnologia de Realidade Virtual (sistema com RV), a qual propõe que o processo de interação entre o sistema e seus usuários finais (usuários) ocorra de forma mais natural e intuitiva aos usuários, apresenta características mais específicas [9] [17] [22] que podem afetar de modo considerável a qualidade no uso desses sistemas por seus usuários, aumentando a complexidade do processo de sistemas com RV e devendo ser consideradas também sob essa perspectiva da qualidade ao longo da concepção, projeto e implementação desses sistemas.

Dessa forma, este trabalho analisa as especificidades de sistemas com RV e as implicações no seu processo, e, a partir da apresentação e discussão das metodologias para esses sistemas, propõe um meta-modelo para o processo de sistemas RV que contemple não apenas as perspectivas da qualidade interna e da qualidade externa, mas também a perspectiva da qualidade no uso através de princípios da Interação Humano-Computador (IHC), adotando e incorporando critérios de usabilidade específicos para esses sistemas, enfoque no usuário e iteratividade de projeto ao longo da concepção, projeto e implementação de sistemas RV, a fim de garantir o estilo de interação humano-computador que o emprego da tecnologia de RV objetiva prover.

Na segunda seção deste artigo são apresentadas as especificidades de sistemas com RV e as implicações no seu processo considerando a qualidade no uso. A terceira seção discute metodologias para sistemas com RV. A quarta seção compara as metodologias para sistema com RV. Na quinta deste artigo, como resultado deste trabalho, é proposto um meta-modelo para o processo de sistemas com RV, sendo realizada a incorporação de enfoque no usuário, iteratividade de projeto e critérios de usabilidade. A sexta seção mostra as conclusões.

2. ESPECIFICIDADES DE SISTEMAS COM RV E IMPLICAÇÕES NO PROCESSO DE SISTEMAS COM RV CONSIDERANDO A QUALIDADE NO USO

Segundo Tanriverdi [22], considera-se que sistema com RV é composto por (a) usuário e ou outras entidades externas, manipulam e trocam informação com o sistema através da interface, (b) interface, consiste de objetos de interface (entidades que possuem regras e identidades bem definidas) e dados (entradas recebidas de usuários e ou de outras entidades externas), (c) controle de diálogo, permite a comunicação entre interface e aplicação e (d) aplicação, contém regras e conhecimento que definem a lógica do sistema com RV.

Sistema com RV possibilita que o processo de interação ocorra de forma mais inerente aos seres humanos, uma vez que é realizado no plano tridimensional e de forma mais diversificada quanto aos sentidos humanos.

Considerando os recursos de interface para prover o processo de interação proposto, sistema com RV exibe diferentes características se comparado com sistema convencional. Enquanto interfaces de sistema convencionais (interfaces convencionais) apresentam principalmente exibições 2D, interfaces de sistema com RV (interfaces com RV) apresentam exibições 2D e, principalmente, 3D. Interfaces convencionais contêm tipicamente objetos virtuais gerados por computador, ao passo que interfaces com RV contêm objetos físicos e virtuais que podem coexistir trocando informações entre si. Quanto às suas características comportamentais, enquanto objetos de interfaces convencionais normalmente exibem comportamentos predeterminados, objetos de interfaces com RV exibem comportamentos autônomos e comunicações entre si que podem mudar seus estados e comportamentos. Enquanto interfaces convencionais suportam interações explícitas (como comandos do usuário usando teclado), interfaces com RV suportam interações explícitas e, principalmente, implícitas (como movimentos das mãos do usuário usando luvas) [22]. Interfaces convencionais provêm interações discretas entre usuário e sistema por meio de dispositivos seriais como teclado ou mouse, ao passo que interfaces com RV provêm interações contínuas entre usuário e sistema por meio de dispositivos paralelos como capacete e luvas [9]. Considerando o desempenho para prover o processo de interação proposto, sistema com RV deve prover desempenho em tempo real, garantindo níveis aceitáveis de imersão, interação e navegação [17].

Nesse contexto, produtos com excelência técnica não são o bastante, isto é, produtos também devem ser de fácil uso e ajuste às práticas e atividades de trabalho do consumidor ou usuário [2]. Nesse contexto, algumas tentativas têm sido realizadas para ampliar a percepção de qualidade. No modelo da ISO/IEC 9126, qualidade é caracterizada do ponto de

vista do usuário como: funcionalidade, confiabilidade, eficiência, manutenibilidade, portabilidade e ainda, usabilidade. Usabilidade é definida na ISO/IEC 9126 como um conjunto de atributos que afetam o esforço necessário para o uso, e a avaliação individual de tal uso, por um conjunto de usuários declarados ou implícitos. Porém, embora desenvolvedores de sistema queiram saber quais atributos incorporar ao código fonte para reduzir o esforço necessário para o uso, presença ou ausência de atributos predefinidos no código pode não assegurar usabilidade [2]. No novo modelo incluído na revisão da ISO/IEC 9126, qualidade é caracterizada através de três diferentes perspectivas: qualidade interna, qualidade externa e qualidade no uso. Qualidade no uso é definida como a extensão na qual o sistema atende as necessidades do usuário em um ambiente de uso. Usabilidade é definida na revisão da ISO/IEC 9126 como a capacidade do sistema ser entendido, apreendido, usado e satisfatório para o usuário, quando usado sob condições especificadas. Os benefícios dessa perspectiva mais abrangente de qualidade incluem maior eficácia, melhor produtividade e aceitação e redução de erros e de treinamentos [2].

De acordo com Smith [18], o processo de sistemas com RV e seus desenvolvedores devem estar focados na utilização da tecnologia de RV de tal modo que os sistemas desenvolvidos atendam aos anseios de seus usuários e sigam critérios de qualidade. Porém, desenvolver sistemas com RV que atendam valor estético, funcional e de uso esperado por seus usuários se apresenta como desafio no emprego dessa tecnologia, pois ainda precisam ser ponderadas inúmeras questões, dentre elas melhor analisar e formalizar o processo desses sistemas, considerando a perspectiva da qualidade no uso, a qual é focada por este trabalho através de enfoque no usuário, de iteratividade de projeto e de critérios de usabilidade para sistema com RV. Nota-se que não somente ferramentas e abordagens detalhadas para o processo de sistemas com RV dificilmente são encontradas ou amplamente aceitas, mas também abordagens detalhadas para o processo de sistemas com RV [16] [17] [18] [22] [23] que visem critérios de usabilidade para esses sistemas distribuídos ao longo de sua concepção, projeto e implementação.

Dessa forma, acredita-se que o processo de sistemas com RV deva estar pautado por metodologias que considerem as perspectivas de qualidade, mais especificamente princípios IHC no que diz respeito ao estilo de interação que o emprego da tecnologia de RV objetiva prover em sistemas interativos, garantindo à perspectiva da qualidade no uso através da ponderação das implicações exigidas ao longo da concepção, projeto e implementação de sistemas com RV.

2.1 Enfoque no Usuário no Contexto de RV

O processo de sistemas com RV, bem como os desenvolvedores desses sistemas devem estar voltados para a utilização da tecnologia de RV de tal modo que os sistemas desenvolvidos apoiem aos requisitos de seus usuários atendendo critérios de qualidade [2] no que diz respeito ao seu valor estético, funcional e de uso. Contudo, artigos ou pesquisas que detalhem o processo de sistemas com RV, de tal forma que os benefícios do emprego dessa tecnologia em sistemas interativos sejam explorados, dificilmente são encontrados [18]. Observa-se que, segundo este trabalho, analisar e formalizar amplamente o processo de sistemas com RV, em relação à sua abrangência não somente na área de ES, mas ainda na área da IHC, se apresenta como importante desafio para melhor empregar essa tecnologia em sistemas interativos. Segundo Scaife [16], as características de sistemas com RV, principalmente no que se refere à alta interação entre esses sistemas e seus usuários, têm levado à utilização de metodologias para sistemas com RV baseadas em abordagens da IHC [4] como o Projeto Centrado no Usuário (PCU) e o Design Participativo (DP), as quais estão fundamentadas no enfoque no usuário durante o processo de projeto [6]. A importância da atividade de prototipação, a qual permite que avaliações iterativas de um sistema sejam realizadas pelos usuários, é reconhecida na abordagem PCU, e portanto também na abordagem DP, uma vez que é considerada como um modo específico do PCU. A utilização do PCU e, segundo este trabalho, do DP, é realizada em conjunto com o modelo de processo de Prototipação [14] da Engenharia de Software (ES), pois esse modelo de processo se adapta às exigências dessas abordagens. Dessa forma, considera-se que o PCU e DP estão baseados no modelo de processo de Prototipação da ES.

Desse modo, devido à alta integração entre sistemas com RV e seus usuários, acredita-se que abordagens com enfoque no usuário se tornam requisito essencial para que esses sistemas atendam a padrões de usabilidade esperados [18] e, desse modo, devem estar inseridas no processo desses sistemas.

2.2 Iteratividade de Projeto no Processo de sistemas com RV

Segundo Pressman [14], as fases genéricas da ES são encontradas em todos os processos de sistemas, independentemente do modelo de processo seguido e da área de aplicação, tamanho ou complexidade do sistema. Segundo Smith [18], o processo de sistemas com RV é composto pelas etapas de especificação, implementação e avaliação, exigindo iteratividade de projeto [17][18][21][22].

Vale notar que é possível correlacionar as fases genéricas da ES e as etapas do processo de sistemas com RV com base em suas atividades. A etapa de especificação corresponde à fase genérica de definição da ES. As etapas de implementação e avaliação correspondem à fase genérica de desenvolvimento da ES. Nota-se que, de acordo com o

escopo deste trabalho, não há etapas correspondentes à fase genérica de manutenção da ES para contemplar o processo de sistemas com RV, pois nessa fase são reaplicados os passos das fases de definição e desenvolvimento.

Dessa forma, acredita-se que metodologias para sistemas com RV devam apresentar, ao menos, etapas iterativas correspondentes às fases genéricas de definição e desenvolvimento da ES, bem como suas atividades, independente da nomeação dada por cada metodologia a essas fases e atividades, uma vez que essas fases são encontradas em todos os processos de sistemas e iteratividade de projeto é exigida para o processo de sistemas com RV.

2.3 Usabilidade no Contexto de RV

De acordo com Smith [18], o processo de sistemas com RV e seus desenvolvedores devem estar focados na utilização da tecnologia de RV de tal modo que o sistema desenvolvido atenda aos anseios de seus usuários e siga critérios de qualidade como usabilidade. Porém, desenvolver sistema com RV que apresente valor estético e funcional e atenda aos anseios de seus usuários em relação à sua usabilidade, se apresenta como desafio na utilização dessa tecnologia, pois ainda precisam ser ponderadas inúmeras questões, dentre elas melhor analisar e formalizar o processo desses sistemas, considerando a perspectiva da qualidade no uso, a qual é focada por este trabalho através de enfoque no usuário, de iteratividade de projeto e de critérios de usabilidade para sistema com RV. Nota-se que não somente ferramentas e abordagens detalhadas para o processo de sistemas com RV dificilmente são encontradas ou amplamente aceitas, mas também abordagens detalhadas para o processo de sistemas com RV [16] [17] [18] [22] [23] que visem critérios de usabilidade para esses sistemas distribuídos ao longo de sua concepção, projeto e implementação. Segundo Stanney [20], usabilidade em sistemas com RV está apenas começando a receber o foco de atenção necessário para identificação de uma taxonomia de critérios de usabilidade específicos para esses sistemas. Princípios de usabilidade tradicionais não consideram características específicas de sistema com RV. Além disso, princípios de usabilidade para sistema com RV dificilmente são encontrados e empiricamente derivados ou validados, bem como métodos adequados para esses sistemas são também dificilmente encontrados. Métodos de avaliação de usabilidade tradicionais têm sido aplicados em sistema com RV. No entanto, métodos de avaliação de usabilidade tradicionais podem não representar características específicas de sistema com RV, apresentando limitações quando aplicados nesses sistemas.

Nesse contexto, a MAUVE (Multi-criteria Assessment of Usability for Virtual Environments) [20], baseada sobre uma revisão e síntese de trabalhos mais recentes [5][10][11][24] para identificar diretivas de usabilidade em sistema com RV, apresenta uma hierarquia de critérios de usabilidade para esses sistemas [8], os quais são adotados por este estudo:

1. Características de Usabilidade do Sistema com RV

1.1. Interação

- 1.1.1. Navegação: localização e orientação prontamente.
- 1.1.2. Manipulação de Objetos: seleção e manipulação de objetos naturalmente.
- 1.1.3. Movimento do Usuário: controle de movimento intuitiva e continuamente.

1.2. Entrada e Saída Multimodais de Sistema

- 1.2.1. Visual: otimização do campo de visão e minimização de distorções.
- 1.2.2. Auditivo: emprego e retorno auditivo eficaz, oportuna e significativamente.
- 1.2.3. Tátil: emprego e retorno tátil e de força para apoiar tarefas confiavelmente.

2. Considerações do Usuário do Sistema com RV

2.1. Envolvimento

- 2.1.1. Presença: promoção de presença (experiência subjetiva de estar em um ambiente quando se está fisicamente em outro)
- 2.1.2. Imersão: promoção de imersão (percepção de estar incluído em e interagindo com um ambiente que provê fluxo contínuo de experiências).

2.2. Efeitos Colaterais

- 2.2.1. Conforto: minimização de desconforto físico e maximização de segurança.
- 2.2.2. Males: minimização de náusea, desorientação e distúrbios visuais.
- 2.2.3. Efeitos Posteriores: minimização de efeitos posteriores.

Inserir esses critérios no processo de sistemas com RV se apresenta como desafio para a obtenção de sistema com RV que atenda amplamente as necessidades de seus usuários. Segundo Bevan [2], há uma necessidade de incorporar mais informações sobre qualidade de uso, usabilidade e projeto centrado no usuário em métodos para o processo de sistemas. Desse modo, devido a grande importância da usabilidade em sistemas com RV, sugere-se que critérios de usabilidade para sistemas com RV sejam incorporados ao processo desses sistemas.

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE CRÍTICA DAS METODOLOGIAS PARA O PROCESSO DE SISTEMAS COM RV VERIFICANDO AS IMPLICAÇÕES NO PROCESSO DE SISTEMAS COM RV

Diversos contatos com os proponentes das quatro metodologias para sistemas com RV encontradas na literatura, VRID, CLEVR, de Stuart e de Scaife e Rogers, foram realizados através de e-mails para que a interpretação e a análise crítica realizada sob a ótica deste trabalho fosse validada sob a ótica dos autores dessas metodologias.

3.1 Metodologia VRID

Inicialmente, o modelo e metodologia VRID (Virtual Reality Interface Design) [22] contém direcionamentos para o projeto de interface de sistema com RV, sendo composta pelo modelo e pela metodologia VRID. Para segmentar e diferenciar a maior complexidade de objetos de interface de sistema com RV, o modelo VRID é organizado em torno de uma arquitetura de objetos multicomponentes. Para aplicar o modelo VRID no projeto de interfaces de sistema com RV, a metodologia VRID é formada por duas fases iterativas de projeto.

O modelo e metodologia VRID se apresenta como uma abordagem apenas para o projeto de interfaces de sistemas com RV e de forma restrita ao contexto da IHC, não considerando o enfoque no usuário ou em usabilidade em seu processo. A metodologia VRID associada ao modelo VRID, através de iterações e refinamentos entre suas fases de projeto, permite obter projetos de interface de sistema com RV conceitualmente seguros e implementáveis na prática. No entanto, a metodologia VRID não apresenta algumas atividades esperadas para abranger todo o processo de sistemas com RV (como análise de requisitos, implementação e teste), bem como outros componentes que consistem esses sistemas (como usuário e aplicação), os quais tornariam essa metodologia mais completa.

3.2 Metodologia CLEVR

A segunda abordagem, a metodologia CLEVR (Concurrent and Level by Level Development of VR Systems) [17], direcionada ao processo de sistemas com RV como um todo e baseada no paradigma Espiral da ES [14], é formada por três etapas nas quais análise de requisitos, projeto e validação são realizadas iterativamente.

A metodologia CLEVR se mostra como uma abordagem para todo o processo de sistemas com RV, porém também de forma restrita ao contexto da IHC, não incorporando o enfoque no usuário ou em usabilidade em seu processo proposto. O processo proposto nessa metodologia, conforme seus autores, está baseado no modelo de processo Espiral da ES. No entanto, percebe-se que não é possível identificar claramente como essa metodologia está fundamentada sobre esse modelo de processo, uma vez que não são apresentadas algumas das atividades características desse modelo de processo (como análise de riscos) durante todo o processo proposto. As atividades a serem realizadas, bem como o momento de sua realização, são bem definidos na metodologia CLEVR, possibilitando que a complexidade associada ao processo de sistemas com RV seja melhor gerenciada. Porém, devido ao desenvolvimento incremental e ao desenvolvimento hierárquico adotados nessa metodologia, segundo seus autores, ou baseado no modelo de processo Evolucionário da ES, conforme este estudo, suas etapas e iterações são realizadas de tal modo que não é possível determinar precisamente quais atividades pertencem a que etapa e ou iteração. Acredita-se que para que a metodologia CLEVR se torne mais completa, no âmbito das exigências no processo de sistemas com RV, é fundamental direcionar seu processo para o enfoque no usuário e em usabilidade.

Desse modo, com base na análise crítica deste estudo e nos diversos contatos com os autores da metodologia CLEVR, tem-se uma nova interpretação e representação para essa metodologia, mostrada na figura 1, sugerida por este trabalho e ratificada pelos autores dessa metodologia.



Figura 1 - Nova Interpretação e Representação para a Metodologia CLEVR

Pela figura 1, nessa nova interpretação e representação da metodologia CLEVR, suas iterações de requisito, projeto e validação são mantidas através da percepção de cada passo dessas iterações como uma etapa no processo dessa metodologia e três ciclos que permitem iteratividade são identificados e acrescentados. Esses ciclos eliminam a necessidade de se possuir um conjunto completo de especificações de requisitos para o sistema com RV antes do início de sua implementação, mantendo o que é chamado de desenvolvimento incremental pelos autores dessa metodologia,

bem como consideram hierarquicamente características críticas de forma, função e comportamento de objetos, mantendo o que é chamado de desenvolvimento hierárquico pelos autores dessa metodologia, e de maneira bottom-up no processo de sistemas com RV. Nessa nova interpretação e representação da metodologia CLEVR, os resultados encontrados ao final de cada etapa são acrescentados. Os ciclos são descritos a seguir:

- A. Análise de Requisitos:** aspectos usuais e da tecnologia de RV como identificação dos objetos e cenas, modelagem e refinamento da hierarquia de classes, das formas, funções e comportamentos dos objetos e das interações.
- B. Projeto:** simulação incremental para validar os modelos de especificação e prever o desempenho do sistema e para transformar esses modelos de especificação em um modelo de implementação que possa ser compilado e executado na plataforma alvo.
- C. Validação:** melhoria da característica de imersão, decidindo empregar ou não elementos adicionais conhecidos por afetar a sensação de presença como aumento das entradas e saídas, variação das formas para o processo de interação, minimização da distração e utilização de efeitos especiais.

Essa nova proposta reproduz o processo de sistemas com RV sugerido pela metodologia CLEVR de modo fiel à sua aplicação, apesar de não sugerir o modelo de processo Espiral da ES como fundamentação, o qual, conforme a análise crítica realizada neste trabalho, não representa fielmente a fundamentação da metodologia CLEVR.

3.3 Metodologia de Stuart

A terceira abordagem estudada, a metodologia de Stuart [21], contém direcionamentos para a análise e para o projeto de sistemas com RV, sendo baseada na metodologia conhecida como Projeto Iterativo [7], é composta por quatro passos iterativos de projeto.

A metodologia de Stuart se apresenta como uma abordagem apenas para a análise e para o projeto de sistemas com RV e de modo mais amplo ao contexto da IHC, ou seja, incorporando o enfoque no usuário e em usabilidade. O processo proposto nessa metodologia, segundo esta pesquisa, está baseado na abordagem PCU da IHC, que por sua vez está baseado no modelo de processo Prototipação da ES, considerando, desse modo, o enfoque no usuário. A preocupação com usabilidade é considerada na metodologia de Stuart durante as avaliações de protótipos realizadas com usuários. Os passos que consistem essa metodologia são abrangentes, descrevendo características de sistemas com RV importantes somente em um nível mais baixo de abstração no processo de sistemas com RV. No entanto, a metodologia de Stuart não apresenta claramente alguns passos esperados para contemplar todo o processo de sistemas com RV (como implementação, avaliação e correção de possíveis erros) que consistem esses sistemas, os quais tornariam essa metodologia mais completa.

Dessa forma, com base na análise crítica deste trabalho e nos diversos contatos com o autor da metodologia de Stuart, tem-se uma nova interpretação e representação para essa metodologia, apresentada na figura 2, sugerida por este trabalho.

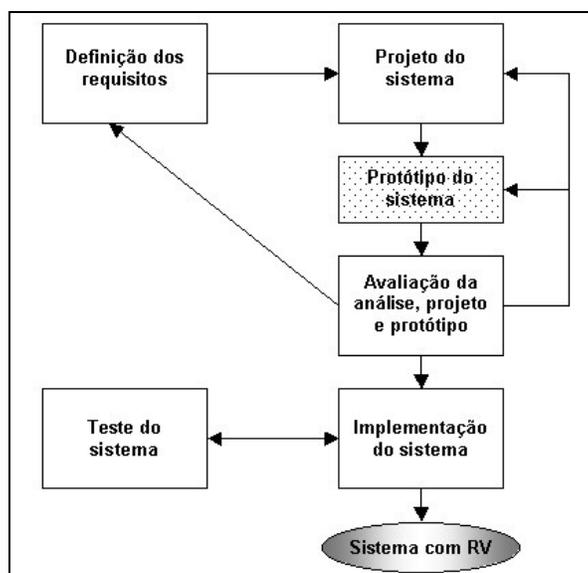


Figura 2 - Nova Interpretação e Representação para a Metodologia de Stuart

Conforme a figura 2, nessa nova interpretação e representação para a metodologia de Stuart, os passos de Definição de requisitos, Prototipação, Projeto e Avaliação são mantidos, dois outros passos e dois ciclos são acrescentados. As

etapas de Implementação do sistema e Teste do sistema permitem que as atividades de implementação, testes e correções de possíveis erros estejam claramente inseridas e representadas nessa metodologia, a qual, desse modo, abrange todo o processo de sistemas com RV. Os dois ciclos acrescentados a partir do passo de Avaliação em direção aos passos de Prototipação e de Projeto permitem que as possíveis iterações decorrentes da necessidade de se ajustar não apenas a análise de requisitos, mas ainda o projeto e ou o protótipo, também estejam claramente inseridas e representadas nessa metodologia. Nessa nova interpretação e representação da metodologia de Stuart, os resultados encontrados ao final de cada etapa são acrescentados.

Essa nova proposta reproduz o processo de sistemas com RV sugerido pela metodologia de Stuart de modo fiel à sua aplicação, apesar de inserir ciclos e passos, os quais, conforme a análise crítica deste trabalho, não estavam representados na metodologia de Stuart.

3.4 Metodologia de Stuart

Por fim, a abordagem de Scaife e Rogers [16], também direcionada ao processo de sistemas com RV como um todo e baseada na abordagem de PCU, é formada por cinco etapas nas quais atividades são realizadas progressiva ou paralelamente.

A metodologia de Scaife e Rogers se mostra como uma abordagem para todo o processo de sistemas com RV se comparada com a metodologia de Stuart, porém também de modo mais amplo ao contexto da IHC, ou seja, incorporando o enfoque em usabilidade e no usuário. O processo proposto nessa metodologia, conforme seus autores, está baseado na abordagem de PCU da IHC, que por sua vez está baseado no modelo de processo Prototipação da ES, considerando, desse modo, o enfoque no usuário. A preocupação com usabilidade é ponderada na metodologia de Scaife e Rogers durante as avaliações de protótipos realizadas com usuários. No entanto, ciclos que permitem iteratividade de projeto em seu processo não são encontrados claramente nessa metodologia. Acredita-se que para que a metodologia de Scaife e Rogers se torne mais completa, no âmbito das exigências no processo de sistemas com RV, é fundamental inserir iteratividade em seu processo.

Desse modo, com base na análise crítica deste estudo e nos diversos contatos com o autor da metodologia de Scaife e Rogers, tem-se uma nova interpretação e representação para essa metodologia, mostrada na figura 3, sugerida por este trabalho e ratificada pelos autores dessa metodologia.

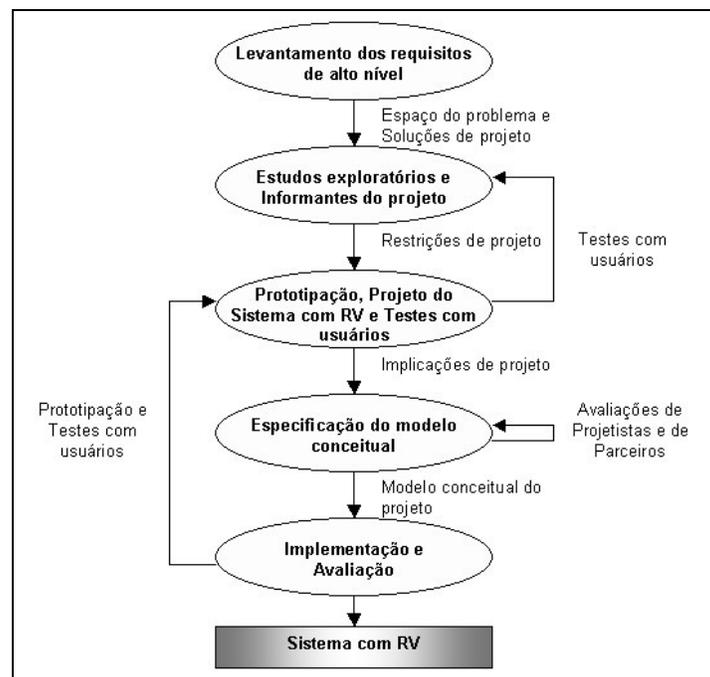


Figura 3 - Nova Interpretação e Representação para a Metodologia de Scaife e Rogers

Pela figura 3, nessa nova interpretação e representação da metodologia de Scaife e Rogers, suas cinco etapas são mantidas e três ciclos que permitem iteratividade são identificados e acrescentados. As atividades realizadas em cada etapa são mantidas na nova interpretação dessa metodologia, porém suprimidas na nova representação da metodologia de Scaife e Rogers, pois a realização dessas atividades é fundamental no processo proposto pela metodologia de Scaife e Rogers, mas sua representação não contribui para o entendimento claro e objetivo dessa metodologia. Nessa nova

interpretação e representação da metodologia de Scaife e Rogers, os resultados encontrados ao final de cada etapa são acrescentados. Os ciclos são descritos a seguir:

- **Testes com Usuários:** requisitos não especificados inicialmente podem ser descobertos nos testes com usuários, exigindo novos estudos exploratórios e novas entrevistas com informantes de projeto.
- **Avaliação de Projetistas e de Parceiros:** avaliações entre projetistas e parceiros de projeto são realizadas para que o modelo conceitual seja especificado.
- **Prototipação e Teste com Usuários:** novos protótipos podem ser construídos e utilizados nos testes com usuários, possibilitando que requisitos de projeto sejam novamente refinados.

Essa nova proposta reproduz o processo de sistemas com RV sugerido pela metodologia de Scaife e Rogers de modo fiel à sua aplicação, atendendo as necessidades de uma estrutura iterativa de processo, a qual, conforme a análise crítica deste trabalho, não estava presente na metodologia de Scaife e Rogers.

4. ANÁLISE COMPARATIVA DAS METODOLOGIAS PARA SISTEMAS COM RV VERIFICANDO AS IMPLICAÇÕES NO PROCESSO DE SISTEMAS COM RV

Como resultado da análise comparativa entre as metodologias para sistemas com RV citadas na literatura, é apresentada a tabela 1, que mostra sobre quais exigências do processo de sistemas com RV as metodologias para sistemas com RV estão fundamentadas.

Metodologia para Sistemas com RV	Enfoque no Usuário	Iteratividade de Projeto	Critérios de Usabilidade	Abrangência
VRID	Não	Sim	Não	Projeto de interfaces com RV
CLEVR	Não	Sim	Não	Todo o processo de sistemas com RV
Stuart	Sim	Sim	Não	Análise e projeto de sistemas com RV
Scaife e Rogers	Sim	Não	Não	Todo o processo de sistemas com RV

Tabela 1 - Tabela Comparativa das Implicações no Processo das Metodologias para Sistemas com RV

Conforme a tabela 1, apenas as metodologias de Scaife e Rogers e de Stuart consideram o enfoque no usuário e em usabilidade para o processo de sistemas com RV, realizando prototipações e avaliações com usuários. Porém, a metodologia de Stuart não explicita claramente atividades de implementação, avaliação e correção de possíveis erros que complementem o projeto gerado em seu processo, as quais são esperadas para completar o processo de sistemas com RV, ao passo que a metodologia de Scaife e Rogers não explicita claramente ciclos que gerem iteratividade em seu processo, a qual é esperada para o processo de sistemas com RV.

5. META-MODELO PARA O PROCESSO DE SISTEMAS COM RV CONSIDERANDO ENFOQUE NO USUÁRIO, ITERATIVIDADE DE PROJETO E CRITÉRIOS DE USABILIDADE

A construção do meta-modelo para sistemas com RV é iniciada através da análise das contribuições de fases ou etapas ou passos, bem como atividades que compõem as metodologias para sistemas com RV encontradas na literatura.

O enfoque no usuário necessário para o meta-modelo é sugerido a partir de sua fundamentação sobre a abordagem do PCU ou do DP da IHC e, conseqüentemente, sobre o modelo de processo Prototipação da ES.

A iteratividade necessária para o meta-modelo é sugerida a partir da iteratividade encontrada através das fases, passos ou etapas que compõem as metodologias para sistema com RV, determinando os ciclos inseridos através das etapas do meta-modelo para sistemas com RV proposto, assim como as atividades necessárias para cada etapa do meta-modelo para sistemas com RV proposto são sugeridas a partir da análise comparativa das atividades que compõem cada fase, passo ou etapa das metodologias para sistema com RV, determinando as atividades inseridas através das etapas do meta-modelo para sistemas com RV proposto.

Desse modo, o meta-modelo para sistema com RV proposto por este trabalho é dividido em cinco etapas, representadas na figura 4.

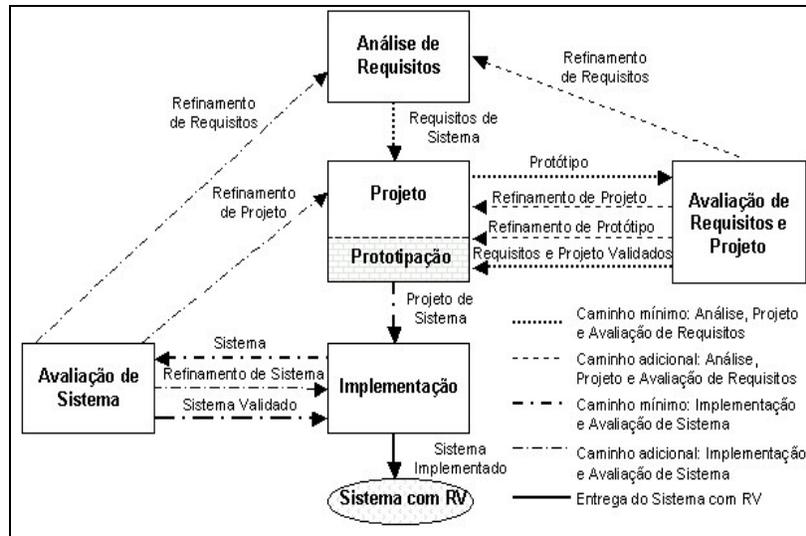


Figura 4 - Meta-modelo para Sistemas com RV com Enfoque no Usuário e Iteratividade de Projeto

Inicialmente, pela figura 4, são realizadas a etapa de Análise de Requisitos, a etapa de Projeto (com base em prototipação) e a etapa de Avaliação de Requisitos e Projeto.

Na etapa *Análise de Requisitos* devem ser realizadas as atividades: definir e delimitar o espaço do problema; identificar os benefícios da utilização da tecnologia de RV para o espaço do problema delimitado; identificar e analisar as pesquisas, teorias e possibilidades tecnológicas existentes para o espaço do problema; definir os usuários, suas capacidades, as tarefas e o ambiente; definir os requisitos funcionais, práticos e específicos do sistema com RV; solicitar aos informantes de projeto suas visões do espaço do problema delimitado; realizar estudos exploratórios, identificando as práticas atuais das formas de representação, dos mecanismos e dispositivos de interação e controle, da melhor combinação entre eles e as possibilidades futuras no espaço do problema; refinar os requisitos do sistema com RV conforme o resultado da etapa de Avaliação de Requisitos e Projeto.

A etapa *Projeto (baseado em Prototipação)* envolve as atividades, conforme a análise resultante da etapa de Análise de Requisitos: construir protótipos do sistema com RV, com ou sem o apoio de tecnologia computacional como em papel ou em ferramenta computacional para prototipação em RV, retratando funcionalidades e componentes de interface e de interação identificados; descartar idéias de projeto com base no resultado da etapa de Avaliação de Requisitos e Projeto; especificar o modelo conceitual do sistema com RV; discutir e refinar o modelo conceitual do sistema com RV com parceiros de projeto; projetar ou selecionar as tecnologias de entrada e saída, a arquitetura e as tecnologias computacionais; especificar ou modelar as funcionalidades do sistema com RV; especificar ou modelar os componentes de interface e de interação do sistema com RV; construir protótipos do sistema com RV, com apoio de tecnologia computacional como ferramenta computacional para prototipação em RV, retratando funcionalidades e componentes de interface e de interação projetados; refinar o projeto do sistema com RV conforme o resultado da etapa de Avaliação de Requisitos e Projeto.

Na etapa *Avaliação de Requisitos e Projeto* devem ser realizadas as atividades: testar os protótipos do sistema com RV utilizando usuários ou profissionais de avaliação; avaliar o desempenho do protótipo e do usuário; avaliar a usabilidade do protótipo; reportar os problemas de requisitos, projeto e ou do protótipo, determinando se há iteração a partir da etapa de Análise de Requisitos ou de Projeto (baseado em prototipação).

Essas três etapas iniciais formam o primeiro ciclo que permite iteratividade de projeto (composto pelos caminhos mínimo e adicional para Análise, Projeto e Avaliação de Requisitos na figura 4) do meta-modelo para sistemas com RV. Esse primeiro ciclo se encerra quando os requisitos do sistema com RV e o projeto são validados através da construção do protótipo e da sua avaliação de modo satisfatória por desenvolvedores e usuários do sistema com RV ou profissionais especializados em avaliação ou, ao menos por usuários do sistema com RV ou profissionais da IHC especializados em avaliação, garantindo o enfoque no usuário através do PCU ou o DP (seta nomeada Requisitos e Projeto Validados na figura 4). Nota-se que caso a avaliação do protótipo indique problemas na definição dos requisitos, as etapas de Análise de Requisitos, Projeto (com base em prototipação) e de Avaliação de Requisitos e Projeto devem ser realizadas novamente. Caso a avaliação do protótipo indique problemas na especificação de projeto, as etapas de Projeto (com base em prototipação) e de Avaliação de Requisitos e Projeto devem ser realizadas novamente. E, caso a avaliação do protótipo indique problemas na implementação do protótipo, caso não esteja de

acordo com os requisitos definidos ou com o projeto especificado ou caso apresente erros de execução, as etapas de Projeto (com base em prototipação) e de Avaliação de Requisitos e Projeto devem ser realizadas novamente.

Finalmente, ainda pela figura 4, são realizadas a etapa de Implementação e a etapa de Avaliação de Sistema.

A etapa *Implementação* envolve as atividades, conforme o projeto resultante da etapa de Projeto: implementar o projeto do sistema com RV; corrigir o sistema com RV conforme o resultado da etapa de Avaliação de Sistema.

Na etapa de *Avaliação de Sistema* devem ser realizadas as atividades: testar o sistema com RV utilizando usuários ou profissionais de avaliação; avaliar o desempenho do sistema; avaliar o desempenho do usuário; avaliar a usabilidade do sistema; reportar os erros do sistema e os problemas ainda remanescentes de requisitos, projeto e ou do protótipo, determinando se há iteração a partir da etapa de Análise de Requisitos, de Projeto (baseado em prototipação) ou de Implementação.

Essas duas etapas finais formam o segundo ciclo que permite iteratividade de projeto (composto pelos caminhos mínimo e adicional para Implementação e Avaliação de Sistema na figura 4) do meta-modelo para sistema com RV. Esse segundo ciclo se encerra quando o sistema é validado de forma satisfatória através da implementação do sistema e da sua avaliação de modo satisfatória por desenvolvedores e usuários do sistema com RV ou profissionais da IHC especializados em avaliação ou, ao menos por usuários do sistema com RV ou profissionais especializados em avaliação, garantindo o enfoque no usuário através do PCU ou o DP (seta nomeada Sistema Validado na figura 4). Nota-se que caso a avaliação do sistema ainda indique problemas na definição dos requisitos ou na especificação do projeto, o primeiro ciclo, a partir, respectivamente, da etapa Análise de Requisitos ou Projeto (com base em prototipação), deve ser realizado novamente e, posteriormente, as etapas de Implementação e Avaliação do Sistema também devem ser realizadas novamente. E, caso a avaliação do sistema indique problemas na implementação do sistema, o qual não está de acordo com os requisitos definidos ou com o projeto especificado ou apresenta erros de execução, as etapas Implementação e Avaliação do Sistema devem ser realizadas novamente.

A construção do meta-modelo para sistemas com RV é iniciada através da análise das possíveis contribuições de fases ou etapas ou passos, bem como atividades que compõem as metodologias para sistemas com RV encontradas na literatura, como representadas nas tabelas .

A construção do meta-modelo para sistemas com RV é finalizada através da análise dos critérios de usabilidade que devem ser considerados ou avaliados através de suas etapas, como representados na figura 5.

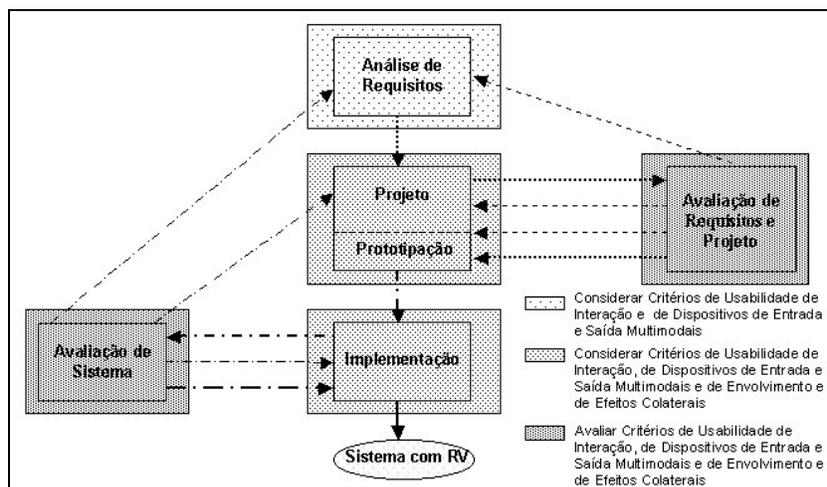


Figura 5 - Meta-modelo para Sistemas com RV com Enfoque no Usuário, Iteratividade de Projeto e Critérios de Usabilidade

Inicialmente, conforme a figura 5, de acordo com Stanney [20], o processo de interação deve ser natural, eficiente e apropriado para usuários, domínios e objetivos de tarefa do sistema com RV. Considerando-se que requisitos referentes ao processo de interação podem ser elicitados na etapa de Análise de Requisitos, acredita-se que se deve pensar em critérios de usabilidade de Interação na etapa de Análise de Requisitos do meta-modelo para sistemas com RV proposto. Uma importante característica de sistemas com RV é apresentar aos usuários múltiplas entradas e saídas através de dispositivos multimodais tais como visuais, auditivos e táteis [13] [20]. Todos esses modos de informação apresentados aos usuários devem ser prontamente entendidos, não ambíguos e necessários para atingir os objetivos das tarefas oferecidas pelo sistema com RV [20]. A escolha de exibição de parâmetros do sistema com RV através de dispositivos multimodais pode afetar significativamente a usabilidade de sistemas com RV [13]. Assumindo-se que requisitos referentes à exibição de parâmetros do sistema com RV e aos dispositivos multimodais podem ser

levantados na etapa de Análise de Requisitos, sugere-se que se deve considerar critérios de usabilidade de Dispositivos de Entrada e Saída Multimodais na etapa de Análise de Requisitos do meta-modelo.

O processo de interação e os dispositivos do sistema com RV são projetados na etapa de Projeto [5][17][21]. Considerando-se que assegurar que o processo de interação e os dispositivos atendam aos requisitos do sistema com RV é de fundamental importância para a usabilidade desse sistema, uma vez que permite aos usuários interagir com esse sistema sem que haja frustração e irritação [20], acredita-se que critérios de usabilidade de Interação e de Dispositivos de Entrada e Saída Multimodais devem ser pensados na etapa de Projeto (baseado em prototipação) do meta-modelo para sistema com RV. Outra importante característica de sistemas com RV é o envolvimento do usuário com esses sistemas, que é considerado de acordo com a sensação de imersão e de presença provida pelos sistemas com RV [15] [19]. Para proporcionar a sensação de imersão, critérios de usabilidade podem ser considerados no projeto de software e hardware de sistemas com RV, uma vez que essa sensação é diretamente afetada por pelo projeto de hardware e software desses sistemas [20]. Para facilitar a sensação de presença, critérios de usabilidade podem ser levantados considerando-se como melhor implementar os componentes de hardware e software do sistema com RV [15]. Assumindo-se que o envolvimento do usuário em sistemas com RV é influenciado pelo projeto de hardware e software desse sistema, e por como melhor implementar esses componentes do sistema com RV, sugere-se que critérios de usabilidade de Envolvimento devem ser considerados na etapa de Projeto (baseado em prototipação) do meta-modelo.

Finalmente, ainda conforme a figura 5, segundo Stanney [19], efeitos colaterais como desconforto físico ou distúrbios fisiológicos e psicológicos associados com o uso de sistemas com RV devem ser minimizados. Dentre esses efeitos, desconforto físico geralmente é associado com o ajuste e a aceitação de dispositivos utilizados pelos usuários no processo de interação com o sistema com RV. No entanto, como conforto e segurança do usuário no uso desses dispositivos são fatores críticos para a usabilidade de sistemas com RV [12], e como a escolha de dispositivos utilizados pelos usuários no processo de interação com o sistema com RV é realizada na etapa de Projeto [21], acredita-se que se deve considerar critérios de usabilidade de Efeitos Colaterais na etapa de Projeto (baseado em Prototipação) do meta-modelo para sistemas com RV.

Vale notar que nas etapas de Avaliação de Requisitos e Projeto, de Implementação e de Avaliação de Sistema do meta-modelo para sistemas com RV, todos os critérios de usabilidade propostos por Stanney [20] estão incorporados a esse meta-modelo, uma vez que todos já foram inseridos ao longo das etapas de Análise de Requisitos e Projeto e, desse modo, sugere-se que se deve pensar e avaliar todos os critérios de usabilidade, ou seja, de Interação, Dispositivos de Entrada e Saída Multimodais, Envolvimento e Efeitos Colaterais, nas etapas de Avaliação de Requisitos e Projeto, de Implementação e de Avaliação de Sistema.

6. CONCLUSÕES

A perspectiva da qualidade no uso é a visão da qualidade do sistema a partir do ponto de vista do usuário. O alcance a essa perspectiva pode ser considerado como um dos maiores objetivos no processo de sistemas interativo. Nesse contexto, sistemas com RV apresentam características mais específicas que podem afetar a qualidade no uso desses sistemas, aumentando a complexidade do processo de sistemas com RV e devendo ser consideradas sob essa perspectiva da qualidade ao longo da concepção, projeto e implementação desses sistemas.

No entanto, desenvolver sistema com RV que apresente valor estético, funcional e de uso, atendendo amplamente aos anseios de seus usuários, se apresenta como desafio, já que ainda precisam ser ponderadas inúmeras questões, dentre elas melhor analisar e formalizar o processo desses sistemas, considerando a perspectiva da qualidade no uso, a qual é focada por este estudo através de enfoque no usuário, de iteratividade de projeto e de critérios de usabilidade para sistemas com RV.

Dessa forma, um meta-modelo para o processo de sistemas com RV é proposto por este trabalho, fundamentado nas especificidades desses sistemas e nas implicações em seu processo através da consideração de princípios da IHC inseridos ao longo da concepção, projeto e implementação de sistemas com RV, a fim de garantir o estilo de interação que o emprego da tecnologia de RV em sistemas interativos objetiva prover.

References

- [1] Bevan, N. Measuring usability as quality of use, in *Journal of Software Quality* 4, 115-130.
- [2] Bevan, N. Quality in Use: Meeting User Needs for Quality, in *Journal of Systems and Software* (1999), 1-12.
- [3] Bowman, D. Kruijff, E., La Viola, J., and Poupyrev, I. The Art and Science of 3D Interaction, in *Tutorial notes from IEEE International Virtual Reality 2000 Conference* (2000), 18-22.

- [4] Brown, J. HCI and Requirements Engineering - Exploring Human-Computer Interaction and Software Engineering Methodologies for the Creation of Interactive Software, in ACM SIGHCI Bulletin 29, 1 (1997), 32-35.
- [5] Gabbard, J.L., Hix, D., and Swan, E. User-centered design and evaluation of virtual environments, in IEEE Computer Graphics and Applications 19, 6 (1999), 51-59.
- [6] Goransson B., and Sandback S. Usability designers improve the user-centred design process, in Proceedings for INTERACT'99 (1999), 1-4.
- [7] Gould, J. D., and Levis, C. Designing for Usability: Key Principles and What Designers Think, in Communications of the ACM 28, 3 (1985), 300-311.
- [8] User Guide Version 2.0. Multi-criteria Assessment of Usability for Virtual Environments, of Design Interactive Inc. (2004), 1-21.
- [9] Jacob, R. J. K., Deligiannidis, L., and Morrison, S. A System Model and Specification Language for Non-WIMP User Interfaces, in ACM Transactions on Computer-Human Interaction 6, 1 (1999), 1-46.
- [10] Kalawsky, R. S. VRUSE - A computerized diagnostic tool: for usability evaluation of virtual/synthetic environments systems, in Applied Ergonomics, 30 (1999), 11-25.
- [11] Kennedy, R. S., and Lane, N. E., Berbaum, K. S., and Lilienthal, M. G. Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness, in International Journal of Aviation Psychology 3, 3 (1993), 203-220.
- [12] McCauley-Bell, P. Ergonomics in Virtual Environments. Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation, and Applications (2002), 807-826.
- [13] Mills, S., and Noyes, J. Virtual Reality: an overview of user-related design issues, in Interacting with computers 11, 4 (1999), 375-386.
- [14] Pressman, R. System Engineering: A Practitioner's Approach. New York: McGraw-Hill, 5 (2001).
- [15] Sadowsky, W., and Stanney, K.M. Measuring and managing presence in virtual environments, in Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation, and Applications (2002), 791-806.
- [16] Scaife, M., and Rogers, Y. Informing the design of a virtual environment to support learning in children, in Journal of Human-Computer Studies 55, 2 (2001), 115-143.
- [17] Seo, J., and Kim, G. J. Design for Presence: A Structured Approach to Virtual Reality System Design, in Presence: Teleoperators and Virtual Environments 11, 4 (2002), 378-403.
- [18] Smith, S. P., and Harrison, M. D. Editorial: User centred design and implementation of virtual environments, in Journal of Human-Computer Studies 55, 2 (2001), 109-114.
- [19] Stanney, K. M., Salvendy, G., Deisinger, J., Dizio, P., Ellis, S., and Ellison, J. Aftereffects and sense of presence in virtual environments: formulation of a research and development agenda, in International Journal of Human-Computer Interaction 10,2 (1998), 135-187.
- [20] Stanney, K. M., Mollaghasemi, M., Reeves, L., Breaux, R., and Graeber, D. A. Usability engineering of virtual environments (VEs): identifying multiple criteria that drive effective VE system design, in International Journal of Human-Computer Studies 58, 4 (2003), 447-481.
- [21] Stuart, R. Design of Virtual Environments. New York: McGraw-Hill, 1996.
- [22] Tanriverdi, V., and Jacob, R. J. K. VRID: A Design Model and Methodology for Developing Virtual Reality Interfaces, in Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality system and technology (2001), ACM Press, 175-182.
- [23] Willians, J. S., and Harrison, M. D. A toolset supported approach for designing and testing virtual environment interaction techniques, in Journal of Human-Computer Studies 55, 2 (2001), 145-165.
- [24] Witmer, B., and Singer, M. (1998). Measuring presence in virtual environment: a presence questionnaire, in Presence: Teleoperators and Virtual Environments 7, 3 (1993), 225-240.