

Programação Visual para os Cubos Interativos C³

Gabriela Aimée Guimarães (UFG)
Yuri Matheus Dias Pereira (UFG)
Hugo A. Dantas do Nascimento (UFG)
Cleomar de Sousa Rocha (UFG)

Palavras-chave: cubos interativos, programação visual, interface gráfica, máquina de estados.

Resumo

C³ é uma plataforma de arte interativa desenvolvida pela equipe do *Media Lab* / UFG. Ela consiste de um conjunto de cubos dotados de comportamentos expressos por luz e som, que variam segundo sua posição no espaço tridimensional, sua proximidade de outros cubos e dos movimentos executados neles por interatores humanos. Convencionalmente, a programação dos cubos se dá utilizando uma linguagem baseada em C para dispositivos Arduino, o que, embora comum em vários projetos de arte interativa, não é dominada por todos aqueles que atuam nessa área. O presente artigo descreve o C³ GUI, um ambiente de programação visual que possibilita que artistas e *designers*, mesmo que inexperientes em programação, possam criar projetos interativos para o C³. Experiências com o C³ GUI demonstram os benefícios em utilizar uma linguagem de programação visual, bem como, os problemas e as limitações que ainda precisam ser resolvidos nessa ferramenta.

Abstract

C³ is an interactive art platform developed by Media Lab/UFG. It consists of a set of interactive cubes which behavior is expressed as light and sounds, varying according to their position in space, its proximity to other cubes and movements made by human interactors. Conventionally, programming the cubes involves using a C-based language for Arduino devices, which, although common in several interactive art projects, is not dominated by all professionals who work in that area. This article presents C³ GUI, a visual programming environment that allows artists and designers, even inexperienced in programming, to create interactive projects for C³. An evaluation of C³ GUI demonstrates the benefits of using a visual programming language, as well as problems and limitations that need to be resolved in this tool.

Keywords: interactive cubes, visual programming, graphical interface, state machine

1. Introdução

O C³ (NASCIMENTO *et al.*, 2015) foi desenvolvido no Media Lab UFG como uma interface tangível e multiusuário para a criação de experiências lúdicas e/ou pedagógicas baseadas na interação física. O sistema consiste de três

cubos de 60 cm de lado que podem ser segurados, sacudidos, mudados de orientação e colocados próximos ou distantes uns dos outros por interatores humanos. Em resposta a essas ações, os cubos podem produzir variações de luz e sons. A superfície que reveste os cubos também pode ser pintada com textos e figuras que tenham significado para o interator, complementando assim a mensagem a ser transmitida pelas respostas do sistema.

Dentro de cada cubo, um aparato eletrônico controlado por um Arduino (MCROBERTS, 2011) viabiliza a experiência interativa. Ele coleta informações sobre a orientação e a movimentação da estrutura física do cubo, bem como, sobre os cubos nas proximidades usando rádio frequência. Uma programação previamente armazenada nos Arduinos trata então esses dados e determina quais respostas visuais e sonoras devem ser geradas. O código fonte da programação do C³ é baseado nas linguagem C/C++ e está organizado em cinco módulos: inicialização do aparato, comunicação entre os cubos, detecção dos movimentos realizados por um interator, emissão de resposta visual e sonora, e controle comportamental (referenciado apenas por Módulo de Comportamento). Esse último módulo é o responsável por definir o que o cubo deve fazer em cada situação. A implementação de novos projetos de interação para o C³ envolve a reprogramação desse módulo nos três cubos do sistema.

O Arduino é hoje amplamente utilizado em projetos de arte interativa, devido ao seu baixo custo, facilidade de integração com vários sensores e outros componentes eletrônicos e estrutura simplificada de programação. Entre a diversidade de projetos que utilizam Arduino, podemos citar exemplos como o MetaCampo (SCIARTS, 2010; SOGABE, 2011) e o Nama (ZANOTELLO, 2012).

Apesar da popularidade do Arduino no universo da arte interativa, nem todos os profissionais dessa área dominam a programação. Programar ainda continua sendo, para muitos, uma habilidade desconhecida e difícil de ser desenvolvida sem um grande esforço e tempo de dedicação. Além disso, a criação de projetos de interação para o C³ não se trata apenas de saber programar. É preciso entender como o módulo de comportamento dos cubos C³ funciona e como construir códigos no modelo de programação preconizado no mesmo. É necessário também saber como esse módulo se integra às demais partes do código do C³ e o que pode ou não ser feito nele. Todos esses detalhes tornam a programação para o C³ complexa e inacessível para muitos profissionais.

Nesse contexto, o presente trabalho contribui introduzindo uma nova ferramenta denominada C³ GUI. O objetivo da ferramenta é facilitar a criação de projetos interativos para o C³ por meio de uma abordagem de programação visual.

O restante deste documento está organizado como segue: a Seção 2 traz uma breve revisão bibliográfica sobre programação visual; a Seção 3 apresenta o

C³ GUI; a Seção 4 descreve uma avaliação do C³ GUI com usuários; por fim, a Seção 5 apresenta nossas conclusões e sugere trabalhos futuros.

2. Linguagens de programação visual

Linguagens de programação visual permitem que usuários criem programas pela manipulação de elementos gráficos. Alguns desses elementos podem representar dispositivos de entrada e de saída, enquanto outros são rotinas que realizam transformação de dados ou armazenamento de informações. Geralmente, em tais linguagens, esses elementos são posicionados graficamente em uma tela pelo usuário e conectados, criando assim um fluxo de processamento de dados que caracteriza o programa desejado.

As linguagens de programação visual foram bastante populares na década de 90, principalmente em áreas específicas e voltadas a domínios de conhecimento delimitados. A motivação por trás dessa popularidade foi facilitar a criação e o estudo de programas avançados, sem incorrer nos detalhes de codificação comuns da programação essencialmente textual. Linguagens de programação visual foram criadas assim para especificar e simular sistemas dinâmicos (por exemplo, STELLA e Simulink) e para o desenvolvimento de software (ver a ferramenta OpenWire), entre várias outras aplicações. Mais recentemente, a programação visual tem sido utilizada no apoio ao ensino clássico de programação, como é o caso dos projetos Scratch e App Inventor do MIT, e da programação em robótica (ver o NXT-G, um ambiente de programação visual para o Lego Mindstorms NXT).

Nas áreas de música, arte interativa, arquitetura e design industrial, a programação visual também marcou sua presença. Por exemplo, Pure Data (Pd) é um sistema com uma linguagem de programação visual voltada para a criação de projetos de mídia interativa muito popular. Um projeto similar ao Pd é o sistema ViMus. Outro exemplo é o OpenMusic (OM), um ambiente de programação visual para composição musical. O OM serve ainda como uma interface visual para a programação em Linguagem Lisp. Também de interesse é a Grasshopper, uma ferramenta com linguagem de programação visual que funciona integrada ao software de CAD Rhinoceros 3D. Grasshopper trabalha com diversos tipos de dados e permite explorar novos designs visuais pela geração e avaliação de alternativas. Ambos sistemas facilitam o trabalho de artistas e designers, ao permitir alcançar seus objetivos com poucas interações e, quase sempre, sem recorrer à programação textual.

3. O C³ GUI

O C³ GUI, como mencionado anteriormente, foi pensado como um sistema de programação visual para auxiliar no desenvolvimento de projetos interativos para o C³. A fim de entender como criar uma linguagem visual para tal finalidade, é preciso compreender primeiro o funcionamento do Módulo de Comportamento do C³. Esse módulo implementa uma máquina de estados

(HOPCROFT *et al.*, 2001) que define os estados do sistema e suas transições. Cada estado está associado a um conjunto de reações do cubo (por exemplo, ligar o LED e/ou produzir um som). Já uma transição representa uma mudança de um estado para outro e é ativada quando determinadas condições acontecem. Alguns exemplos de condições são o cubo estar com uma certa face voltada para cima, estar sendo sacudido ou se encontrar próximo de outro cubo. A máquina de estado é atualmente codificada na forma de um comando *switch*, com blocos de código para cada estado. Dentro desses blocos, ficam os comandos que ativam as respostas visuais e sonoras, bem como as condições (por meio de comandos *if*) para a transição do estado corrente a outros.

A proposta de operação do C³ GUI é permitir que o usuário especifique a máquina de estados simplesmente desenhando-a por meio de um editor de diagramas. O usuário pode informar um único diagrama de estados, a ser utilizado em todos os cubos, ou especificar um diagrama para cada cubo. Após o diagrama ser finalizado, um código em linguagem C para a máquina de estado é gerado. Esse código conterá blocos de comandos a serem importados dentro do *switch* do Módulo de Comportamento. O novo código fonte do C³ deve então ser compilado e transferido para os Arduinos dos cubos, o que conclui o processo de desenvolvimento do projeto interativo.

O C³ GUI é formado, assim, por dois componentes principais: um editor de diagramas e um gerador de código da máquina de estados. Esses componentes são apresentados em detalhes a seguir.

3.1 O editor de diagramas

Para a construção de um diagrama, a máquina de estados foi modelada internamente no C³ GUI como um grafo direcionado, com estados indicados por nós enquanto transições foram representadas por arcos. Em termos visuais, elipses foram utilizadas para desenhar nós/estados e linhas ortogonais direcionadas (conectando duas elipses) foram escolhidas para mostrar transições/arcos.

Recursos para criar, editar atributos de configuração, mover, copiar e apagar estados e transições foram implementados no sistema. Na versão atual do C³ GUI, a edição de atributos de um estado consiste na escolha de respostas visuais e sonoras a serem ativadas, dentro de uma lista de opções. Veja uma imagem dessa interface na Figura 1. Uma tela de configuração similar à de estado, ilustrada na Figura 2, foi também projetada para permitir a configuração das transições. Nela, o usuário pode escolher as condições que determinam a mudança de um estado para outro.

Os estados no diagrama são numerados sequencialmente e de forma automática pelo C³ GUI. É preciso, contudo, que o usuário escolha um dos estados para ser o inicial do sistema.

3.2 O gerador de código

O gerador converte o grafo construído visualmente pelo usuário em um código na linguagem C para ser incorporado depois no C³ em tempo de compilação. Cada nó u do grafo é mapeado para duas cláusulas case, numeradas $2u$ e $2u+1$, no comando Switch dentro do Módulo de Comportamento. A primeira cláusula implementa comandos para produzir a maioria das respostas visuais e/ou sonoras do cubo e um comando para forçar a mudança para a segunda cláusula. A segunda cláusula, por sua vez, contém comandos que controlam a transição do estado u para demais estados.

A Figura 3 mostra um exemplo simples de um diagrama de máquina de estados e seu código correspondente gerado. O Estado 0 é o inicial e foi configurado para acender uma luz verde. O Estado 1 define a cor da luz do cubo com sendo vermelha. Duas transições foram criadas para mudar de um estado para outro e vice-versa se o cubo for sacudido.

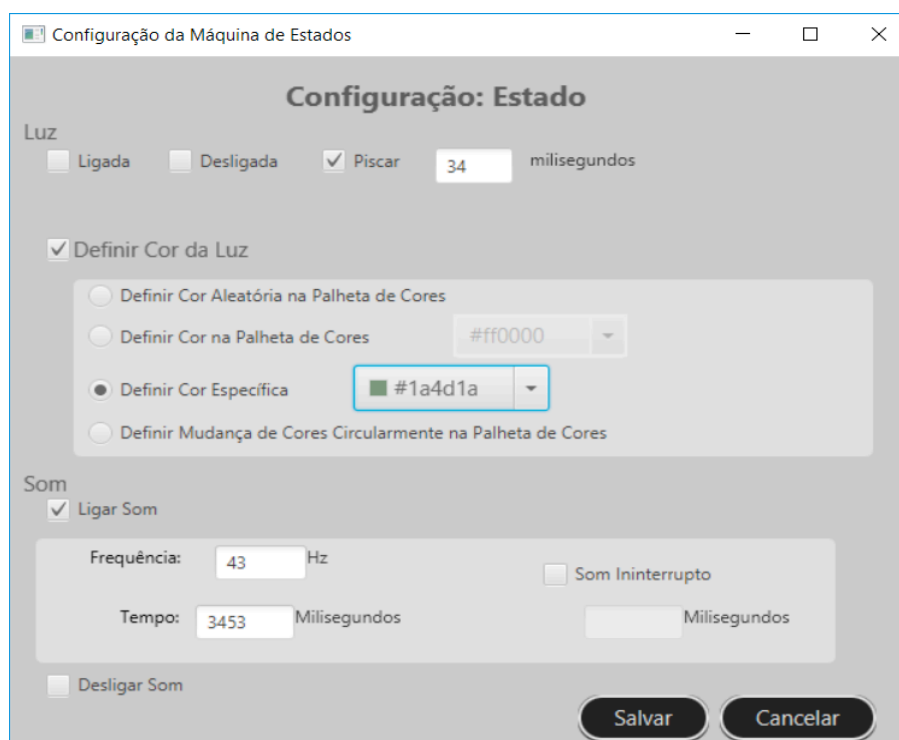


Figura 1: imagem da janela de configuração de estado. Algumas opções dessas telas são mutuamente excludentes, tais como ligar e desligar a luz do LED.

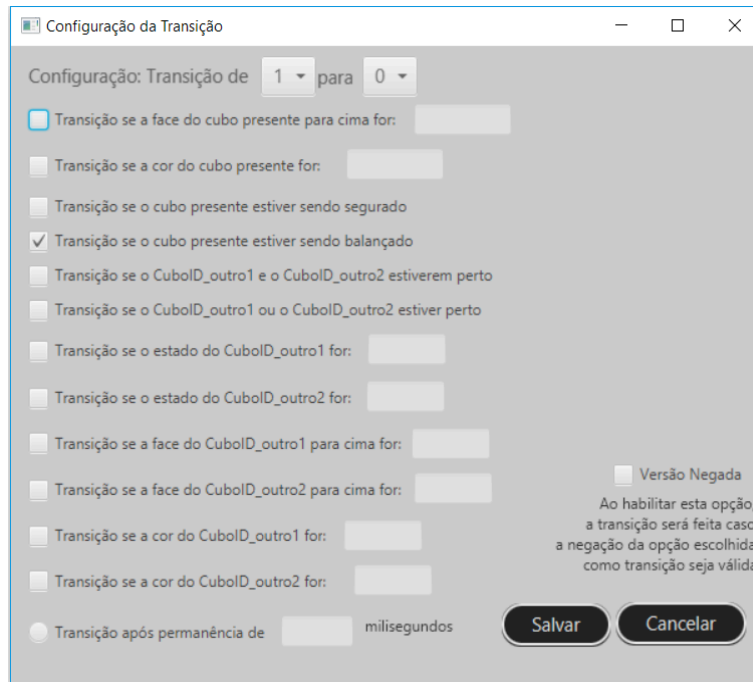
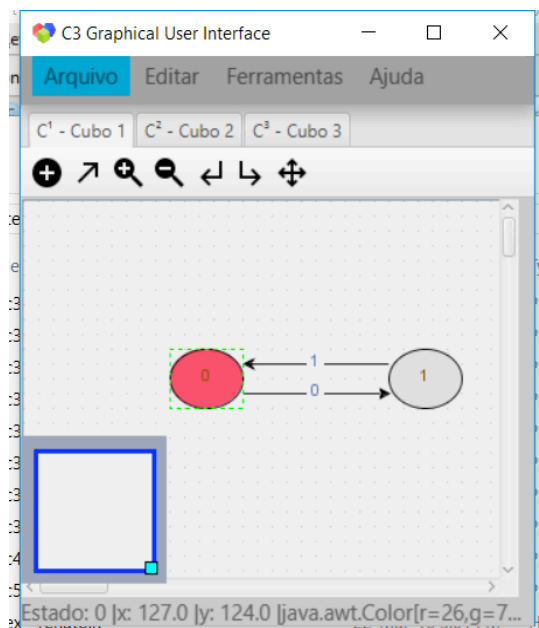


Figura 2: imagem da janela de configuração de transição.



```

case 0:
    luzligada();
    definirCorRGB(26, 77, 26);
    estado[CuboID] = 1;
    break;
case 1:
    if (balancando) {
        estado[CuboID] = 2;
    }
    break;
case 2:
    definirCorRGB(153, 0, 0);
    estado[CuboID] = 3;
    break;
case 3:
    if (balancando) {
        estado[CuboID] = 0;
    }
    break;
    
```

Figura 3: diagrama de uma máquina de estados (à esquerda) e seu código correspondente (à direita), gerado pelo C³ GUI. **3.3 Aspectos adicionais**

Além da edição de diagramas e da geração de código, o C³ GUI permite salvar em arquivo e carregar um projeto de interação.

O sistema foi implementado como uma aplicação *desktop* utilizando a linguagem de programação Java. Para a construção da interface gráfica com o usuário, foi empregado o *framework* Java FX. Essas tecnologias facilitam a evolução e a migração do programa para outros sistemas operacionais. Para executar o C³ GUI, é preciso ter instalado no computador apenas uma máquina virtual Java da Oracle, versão 8 ou superior.

4. Avaliação

A fim de verificar se a ferramenta C³ GUI facilita a criação de projetos de interação para os cubos C³, sem a necessidade de escrever códigos de programação em linguagem convencional, foi realizada uma avaliação preliminar da mesma com usuários. Um outro objetivo da avaliação foi identificar potenciais problemas de usabilidade e levantar sugestões de melhorias para a ferramenta.

A avaliação envolveu seis participantes, todos membros do Media Lab – UFG e atuantes em projetos de arte interativa. A Tabela 1 sumariza o perfil desses participantes. Eles são referenciados aqui apenas por um identificador numérico. Três participantes estudavam e/ou trabalhavam na área de artes enquanto três eram alunos de computação. A experiência em programação em geral é descrita na última coluna da tabela. Um termo "Não" nessa coluna significa que o participante não sabia programar. Somente o Participante 6 tinha, além de experiência de programação, programado previamente para o C³. Todos os participantes, contudo, já tinham visto o C³ em funcionamento.

Foi elaborado um documento para apoiar a avaliação contendo três partes: (a) um passo a passo explicando a forma de uso da ferramenta; (b) um texto descrevendo uma tarefa a ser realizada, consistindo da criação de uma máquina de estado para um projeto de interação específico; e (c) um questionário. Foi dado um tempo para que o participante estudasse o passo a passo e tentasse construir a máquina de estados utilizando o C³ GUI. Além disso, os participantes foram solicitados a gerar o código final e compilá-lo para instalar em um dos cubos interativos. Essas atividades foram acompanhadas

por alguns dos autores do presente trabalho, os quais tiraram dúvidas quando solicitados. Por fim, foi destinado alguns minutos para o preenchimento do questionário por cada participante.

Tabela 1: Perfil dos avaliadores do C³ GUI

Id	Estudo ou Profissão	Idade	Sexo	Experiência em programação em geral
1	Estudante de Design Gráfico	23	M	Não
2	Mestranda em Cultura Visual	26	F	Não
3	Designer Gráfico	27	M	Sim
4	Estudante de Ciência da Computação	24	F	Sim
5	Estudante de Ciência da Computação	25	M	Sim
6	Estudante de Ciência da Computação	28	M	Sim*

(* experiência de programação também para a arquitetura de código do C³)

O questionário era formado por sete perguntas sobre a facilidade de uso de certas funcionalidades do C³ GUI e sobre os pontos fracos e fortes dessa aplicação. As perguntas foram as seguintes:

“Foi possível especificar o comportamento interativo descrito nesta avaliação com o C³ GUI?”

“Quão interessante você considera o Diagrama de Estados como forma de especificar um comportamento para o C³?”

“Quão fácil você considera o Diagrama de Estados como forma de especificar um comportamento para o C³?”

“Qual a opinião sobre o recurso de criação de estados/configurações?”

“Escreva sobre os aspectos positivos e negativos (se existentes) do recurso de criação de estados.”

“Qual a sua opinião sobre o recurso de criação de transições?”

“Escreva sobre os aspectos positivos e negativos (se existentes) do recurso de criação de transições e escreva comentário e sugestões que gostaria de fazer sobre o C³ GUI.”

As Perguntas 1 a 4 e 6 tinham respostas fechadas com cinco alternativas, sugerindo uma escala gradativa de notas (com a primeira alternativa indicando a menor nota para o C³ GUI no aspecto avaliado e, a última alternativa, a maior nota). As demais perguntas eram abertas, com um campo para a escrita de um texto. Além dessas perguntas, foi incluído um campo no final do questionário para os participantes fazerem outros comentários e sugestões sobre o C³ GUI.

A avaliação foi realizada no prédio do Media Lab da UFG em sessões individuais com cada participante. Ao todo, foi destinada uma hora para cada sessão. Os resultados são apresentados a seguir.

4.1 Resultados

A Tabela 2 mostra as notas associadas às respostas dos participantes para as perguntas fechadas do questionário.

Tabela 2: Notas do C³ GUI conforme respostas dadas pelos avaliadores no questionário.

PERGUNTAS / PARTICIPANTES	Id 1	Id 2	Id 3	Id 4	Id 5	Id 6	MÉDIA
Pergunta 1	4	4	5	4	4	4	4,16
Pergunta 2	3	5	5	4	4	4	4,16
Pergunta 3	3	3	5	4	5	2	3,66
Pergunta 4	4	3	4	4	5	3	3,83
Pergunta 6	3	2	4	3	3	3	3,0
SOMA	17	17	23	19	21	16	---

Consideramos como *baixas* as notas inferiores a 3, e como *altas* aquelas superiores a esse valor. A nota 3 foi interpretada como um *posicionamento neutro* quanto ao aspecto avaliado. Para a interpretação das médias, definimos como *satisfatórios* os resultados com média no intervalo (3..4] e, como *bons*, os valores em (4..5].

A média das notas para a Pergunta 1 (4,16) foi uma das maiores na avaliação. Ela mostra que os usuários consideraram como completada a tarefa solicitada

(ou seja, construíram um projeto de interação usando o C³ GUI). Apenas um participante (Id 3), contudo, afirmou está totalmente seguro quanto a ter concluído a tarefa corretamente.

Para a Pergunta 2, as respostas dos participantes sugerem que, na média, eles acharam interessante o uso do diagrama de estado como uma forma de criar projetos de interação para o C3 (média superior a 4), embora haja uma variância significativa das notas nesse aspecto.

Já para a Pergunta 3, sobre a facilidade de uso do diagrama de estados, os resultados são meramente satisfatórios (média superior a 3). Nota-se, inclusive, que houve uma variância alta das respostas – dois usuários atribuíram nota máxima nesse quesito, enquanto um deu uma nota baixa (2) e outros dois tiveram um posicionamento neutro. Isso já sugere a existência de algum problema de usabilidade da ferramenta.

Os resultados para a Pergunta 4, embora um pouco melhores do que os da Pergunta 3, mostram que o recurso de criação de estados também foi considerado apenas satisfatório. As respostas textuais para a Pergunta 5, vinculada à Pergunta 4, dão uma visão mais clara da percepção dos usuários nesse quesito. A maioria dos participantes achou que o melhor aspecto da criação/edição de estados era o fato de todas as ações possíveis serem apresentadas em uma mesma tela. No entanto, o texto explicativo dessas ações foi considerado complexo e não intuitivo por todos os participantes.

O recurso de criação de transições, coberto na Pergunta 6, foi o pior pontuado (média 3). As razões para isso aparecem nas respostas à Pergunta 7 e são semelhantes àquelas apresentadas para a Pergunta 5, sobre a configuração de estados. Em particular, os participantes comentaram que a criação de transições era complicada, dada a existência de muitas condições (que podiam ser combinadas) e devido a uma descrição textual das mesmas não muito intuitiva. A dificuldade de ver o que cada arco de transição significava foi outro problema mencionado. A sugestão de melhoria mais frequente neste quesito foi justamente simplificar a janela de configuração de transição.

No campo final do questionário, os participantes fizeram várias outras sugestões de melhoria para a ferramenta. Dentre elas, destacam-se propostas de utilização de uma visualização mais direta da configuração dos estados e

das transições, sem a necessidade de acessar as telas de configuração específicas, e novas propostas de modelagem da interação do C³, como a associação de um estado explicitamente a cada face dos cubos.

Por fim, percebemos, pela Tabela 2, que as notas dadas pelos participantes da área de artes (Id 1, 2 e 3) foram muito próximas daquelas atribuídas pelos usuários da área de computação (Id 4, 5 e 6), demonstrando que ambos os grupos acharam a ferramenta efetiva e interessante, mas sentiram a necessidade de melhorar alguns aspectos de sua interface gráfica.

5. Conclusões

A ferramenta C³ GUI foi desenvolvida com a finalidade de tornar o C³ mais acessível, ao auxiliar profissionais da área de artes a criarem projetos de interação para os cubos sem a necessidade de aprenderem os detalhes de uma programação convencional. Uma avaliação do C³ GUI com usuários foi realizada. A avaliação é ainda preliminar pois faz-se necessário ampliar o grupo de avaliadores. No entanto, os seus resultados já demonstram que a ferramenta é de interesse e que realmente possibilita criar projetos de interação, mesmo para não programadores. Isso levando em conta que os participantes necessitaram apenas de cerca de uma hora para aprender a usar o C³ GUI, construir um projeto de interação real, e preencher um questionário. Por outro lado, alguns problemas de usabilidade relacionados à edição dos atributos dos estados e, principalmente, das transições, foram identificados. Tais problemas precisam ser solucionados, sendo que os comentários escritos pelos usuários nos questionários contribuem nesse sentido.

Como trabalhos futuros, pretendemos:

melhorar a criação e a edição de estados e transições, de acordo com o que foi percebido por meio da avaliação;

incorporar novos recursos ao editor de máquina de estados do C³ GUI (por exemplo, permitir agrupar uma parte de uma máquina de estados, para que ela possa ser reaproveitada em outros cubos ou no mesmo);

incorporar novos componentes de hardware ao C³ e estender o editor de máquina de estados para utilizá-los;

avaliar o C³ GUI com um corpo maior de profissionais da área de artes; e verificar a possibilidade de usar o C³ GUI como uma ferramenta para

aprendizado de programação convencional para o C³. Neste caso, o C³ GUI seria utilizado não apenas para criar projetos de interação finais mas também para ensinar a escrever códigos avançados pelo estudo dos códigos de programação gerados pelo mesmo.

Agradecimentos

Agradecemos aos membros do Media Lab UFG pelo apoio na realização deste projeto, em especial pelo tempo e pelo esforço dedicados à avaliação do C³ GUI.

Referências

NASCIMENTO, H.A.D., de Sousa Rocha, C., de Oliveira, L.W., Tannús, H.C., *et al.* C³ – Cubos interativos. Anais do XIX Congresso da Sociedade Ibero-Americana de Gráfica Digital (SIGraDi 2015), pp. 1-8, 2015.

HOPCROFT, J. E., Motwani, R. & Ullman, J. D. Introduction to automata theory, languages, and computation. 2a edição. Addison-Wesley, 2001.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. 1a edição. Novatec, 2011.

SCIARTS. Metacampo. Emoção Art.ficial 5.0: Autonomia. Itaú Cultural. 2010.

SOGABE, M. Instalações interativas mediadas pela tecnologia digital: análise e produção. ARS (São Paulo), São Paulo, v.9, n.18, p.60-73, 2011.

ZANOTELLO, L.G.F. NAMA. Relatório de Conclusão de Curso em Design. Universidade Estadual Paulista. 2012.