



## Simulação do Ambiente WebLab – Um laboratório de acesso remoto educacional através de Redes de Petri Coloridas

**Fretz Sievers Junior<sup>1,3,4,5,6,7</sup>, Eliane Santiago Ramos<sup>1,2</sup> Jose Silvério Edmundo Germano<sup>3</sup>, José M. Parente de Oliveira<sup>1</sup>, Bruno Pancioni<sup>4</sup>, Nizi Voltareli Morzelli<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> ITA–Instituto Tecnológico de Aeronáutica , Departamento de Eng. Elet. e Computação Pç Marechal Eduardo Gomes, n 50, Campus do CTA, 12228-900, São José dos Campos – SP - Brasil

<sup>2</sup>Faculdade Carlos Drummond de Andrade Rua Prof. Pedreira de Freitas, 415 – São Paulo – SP – Brasil.

<sup>3</sup>ITA–Instituto Tecnológico de Aeronáutica , Departamento de Física – IIEFF, Pç Marechal Eduardo Gomes, n 50, Campus do CTA, 12228-900, São José dos Campos – SP - Brasil

<sup>4</sup>FATEC Mogi das Cruzes, Departamento de Análise e Desenvolvimento de Sistemas, Rua Carlos Barattino, 01 - Vila Nova Mogilar, 08773.600- Mogi das Cruzes/SP - Brasil

<sup>5</sup>FATEC Mauá, Departamento de Informática e Negócios, Av. Antônia Rosa Fioravanti, 630 - Vila Ana Maria, 09390-120, Mauá/SP – Brasil

<sup>6</sup>UNISUZ – Faculdade Unida de Suzano, Departamento de Sistemas de Informação, Rua José Correia Gonçalves, 57 - Centro - Suzano - SP

<sup>7</sup>UBC – Universidade de Braz Cubas, Departamento de Ciência da Computação, Av. Francisco Rodrigues Filho, 1233 – Mogilar, Mogi das Cruzes/SP - Cep: 08773-380

{fretz,eliane.ramos,nizi}@uol.com.br,{silverio,parente}@ita.br,bmpnet@gmail.com

**Abstract:** *This research aims to presents an architecture lab environment for remote access, called WebLab, whose main objective is to enable the execution and real-time control of basic physics experiments, using the medium of internet. This architecture lab, which has been tested and validated in applications related to the teaching of physics, can be used with necessary adaptations, in any area of knowledge. From the viewpoint of computer engineering, formal verification of the architecture of the WebLab was performed using an approach of Colored Petri Nets. The formal specification and verification environment based networks to help determine if the planned features of the pedagogical model can be performed even before its implementation*

**Resumo.** *Este trabalho apresenta um ambiente de laboratório de acesso remoto, denominado WebLab, cujo objetivo principal é possibilitar a realização e controle em tempo real de experimentos de física básica, usando como meio a internet. Esse ambiente foi testado e validado em aplicações ligadas ao ensino de física, pode ser utilizada com as devidas adaptações, em qualquer área do conhecimento. Do ponto de vista da Engenharia da Computação, a verificação formal do ambiente WebLab foi realizada usando uma abordagem de redes de Petri Colorida. As especificações e verificações formais do ambiente baseadas nessas redes, permitem constatar se as funcionalidades planejadas do modelo pedagógico podem ser realizadas, antes mesmo de sua implementação.*

**Palavras Chaves:** *Simulação, Laboratórios de Acesso Remoto e Educação a Distância*

## 1. Introdução

O termo "simulação" é derivado do latim "simulatus" = "imitar". Portanto, simulação pode ser definida como a imitação de uma situação real, através do uso de modelos.

O propósito principal da simulação é representar ou modelar o comportamento próprio e as interações dos elementos de um sistema para permitir uma avaliação previa do seu desempenho. A simulação é mais um instrumento (por sinal, dos mais poderosos) do analista que pretende determinar o melhor sistema a ser implementado ou melhorado. Ela permite quantificar os efeitos de várias mudanças no sistema. Simplificadamente, ela é um instrumental descritivo para estimar como o sistema deverá operar se ele for projetado de um determinado modo. Também, a simulação não pretende ser, em si próprio, um processo de "otimização" ou de "tomada de decisão", mas um método ou técnica para ser utilizada em tal processo (FU, 2001).

Em síntese, pode-se entender o ato de "simular" como o de duplicar o comportamento dinâmico de características essenciais de um sistema, operação ou processo ao longo do tempo (INGALLS, 2001; OLIVEIRA, 1988).

Assim, através da simulação:

- a) dispõe-se de um "laboratório" para observação e experimentação que há muito tempo vem sendo parte dos métodos científicos nas ciências físicas, medicas biológicas, econômicas e educacionais.
- b) várias políticas e decisões podem ser testadas e analisadas num intervalo de tempo muito curto (OLIVEIRA, 1988).

Podemos notar o aumento crescente do uso de laboratórios de acesso remoto no exterior, pela crescente disponibilidade e capacidade dos computadores pessoais como é o caso do uso de laboratórios remotos em ciências ambientais e ecológicas (KREHBIEL,2003), mas são encontrados principalmente nos departamento de engenharia, por exemplo química (SELMER,2007), elétrica (LANG,2007) e (LOWE,2009) e mecânica (WEIGHTMAN,2007).

A tecnologia que está sendo desenvolvida em um número crescente de instituições de ensino superior e está ramificando para outras disciplinas e para outros níveis de ensino. No Brasil podemos encontrar alguns laboratórios como (KYATERA,2008), e um laboratório para prática remota de aulas Laboratoriais de Física (OLIVEIRA,2009).

O presente trabalho mostra uma abordagem de especificação e verificação formal das funcionalidades de um ambiente de laboratório de acesso remoto intitulado WebLab. Redes de Petri Coloridas foram utilizadas para especificação e verificação formal e simulação do modelo do sistema.

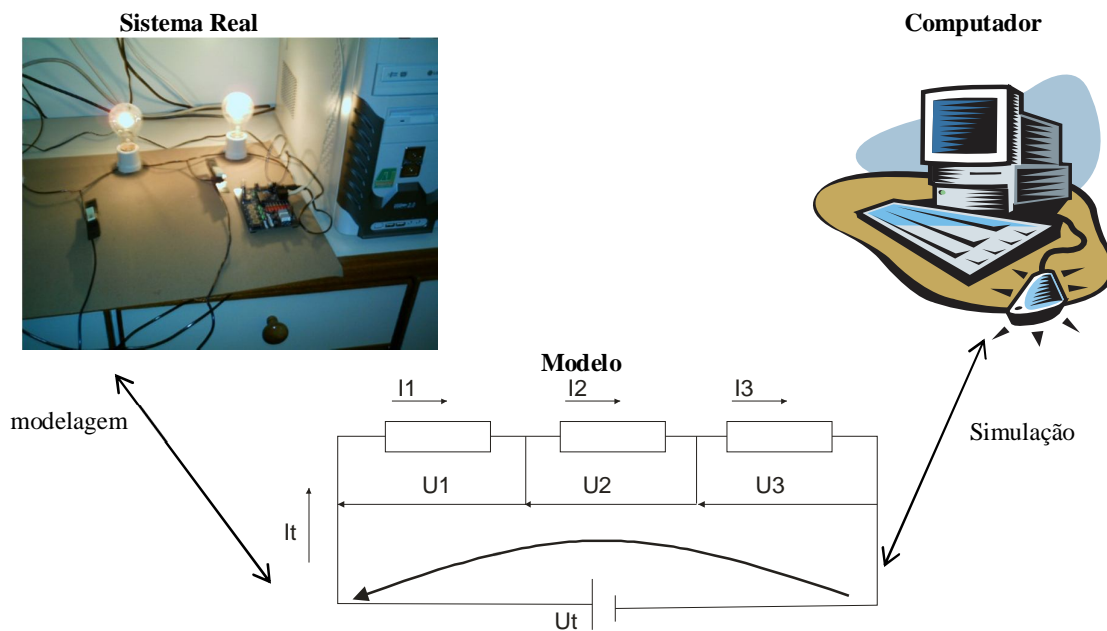
Este artigo está dividido da seguinte forma: na seção 2 apresentamos o conceito de Simuladores Computacionais, na seção 3 apresentamos o ambiente WebLab, na seção 4 apresentamos o laboratório remoto autorama, na seção 5 apresentamos o modelo gerenciador de Laboratórios Remotos, na seção 6 apresenta o modelo de Rede de Petri Colorida dos Experimentos simulando fila e tempo e por último apresentamos conclusões deste artigo.

## 2. Simuladores Computacionais

Em uma simulação experimental, um processo físico (ou biológico) é "imitado" por outro processo (HARTMANN,2005). Este outro processo que imita o real é chamado geralmente de modelo computacional (no caso da simulação experimental computacional).

Modelos são abstrações da realidade, nos quais informações desnecessárias para a análise em questão são desprezadas e aspectos relevantes são descritos. Modelos descrevem normalmente a estrutura e comportamento de sistemas reais, podendo ser usados em lugar destes para diferentes propósitos. Na indústria, para se diminuir a quantidade de protótipos a serem construídos, simuladores são empregados de forma a diminuir custos e aperfeiçoar produtos. Na área educacional, são alternativas econômicas em razão dos altos custos de equipamentos reais.

Desta forma, para ser realizada uma simulação, é necessário construir um modelo computacional que corresponda à situação real que se deseja simular, conforme demonstrado na Figura 1.



**Figura 1.** Elementos básicos e relações do processo de modelagem e simulação.

Geralmente, simuladores representam sistemas através de modelos matemáticos estáticos ou dinâmicos, dependendo do tipo de processo envolvido. Redes neurais e outras formas de representação matemática de sistemas também podem ser utilizadas para modelos não convencionais.

A seguir, resalta-se algumas características essenciais dos simuladores ou das simulações de sistemas dinâmicos:

- **Capacidade de manipulação do tempo (ou variável independente):** pode-se acelerar ou frear o tempo para permitir a visualização de processos e grandezas de interesse da dinâmica do processo de simulação.
- **Precisão:** número de iterações é um parâmetro que geralmente permite configurar a precisão dos dados calculados (quanto maior o número de interações, maior a precisão). Outro parâmetro é o tipo de dado usado na simulação (booleano, inteiro,

- real, etc) e o número de casas decimais dos valores numéricos dos parâmetros (que impactam nos erros por arredondamento).
- **Granularidade:** o tamanho do passo (step size) é o parâmetro responsável pela granularidade da base de tempo, isto é, a distância entre um ponto ao outro dentro do intervalo de simulação calculado pelo simulador.
  - **Limites da simulação:** de forma a estabelecer limites para o cálculo e execução de simulações, parâmetros comuns são limites mínimos e máximos da variável independente em questão.
  - **Simulação passo a passo (step by step simulation):** para identificar erros, pode-se executar a simulação passo a passo, isto é, inserindo condições de parada em uma simulação para visualização naquele momento (especialização de manipulação do tempo).

As características descritas encontra-se na ferramenta CPN-TOOLS (JENSEN,2009) que será mostrado o modelo na seção 6.

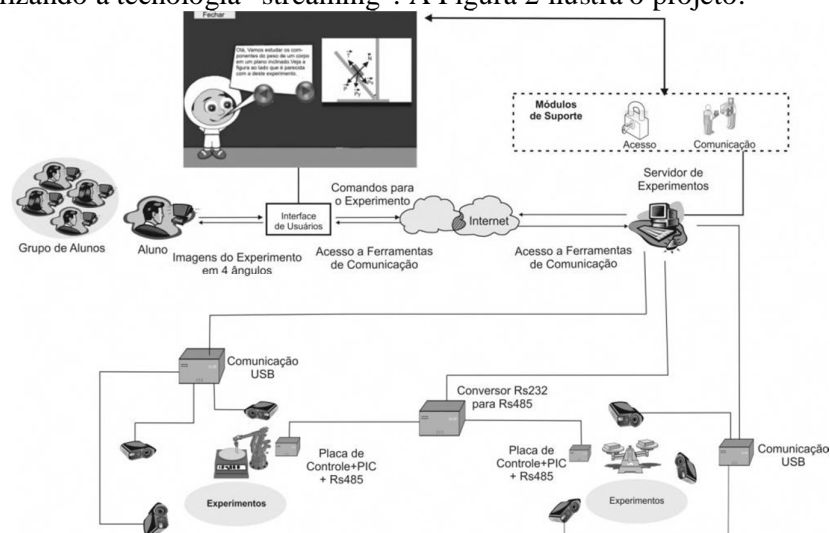
### 3. WebLab

Esse modelo inicialmente visava somente à interligação de alguns experimentos de Física, que fazem parte do laboratório de ensino de física utilizado na Divisão Fundamental do ITA. Mostrando resultados satisfatórios, este modelo foi estendido para o ensino de microcontroladores a distância interligados com o Kit Programe Fácil (Silvério,2009) Através de um servidor, os experimentos são conectados, através de uma rede 485, o qual permite que os alunos tendo acesso ao software cliente de controle dos experimentos, escolham um dos experimentos do WebLab, estes experimentos são monitorados através de webcam que envia as imagens para os alunos.

Os experimentos são acessados e compartilhados através da Internet, sendo assim outras instituições do Ensino Superior no Brasil e em países em desenvolvimento, poderão ter acesso a esses experimentos, enriquecendo o conteúdo das aulas, pois possibilitará que um aluno que goste de Física, mas que estude em uma escola onde não exista ensino experimental, realizar as mesmas atividades de um aluno de uma escola bem equipada, com professores qualificados e onde exista o ensino experimental, melhorando a curva de aprendizagem dos alunos. Com a implementação deste projeto queremos atingir os seguintes objetivos:

- Redução de custos do ensino Médio e Universitário, pois nesse modelo não seria mais necessário cada escola ter seu laboratório de Física, diminuindo custos de manutenção;
- Capacitação de um número maior de alunos;
- Capacitar os alunos a agirem autonomamente;
- Mais chances e incentivos para que as pessoas se qualifiquem mais, de tal forma que estejam capacitadas a sobreviverem no mundo do trabalho de hoje;
- Sem limitações de horário. O estudante poderá ter acesso às experiências em qualquer lugar a qualquer hora, durante todos os dias da semana.
- Compartilhamento de experimentos de física atendendo os requisitos do Ensino Médio da instituição que se encontra o experimento (Intranet) e de outras instituições (Internet)
- Aquisição de dados com modelos reais, aferindo os erros dos equipamentos.

O WebLab é um laboratório on-line que permite a realização de experiências reais através de uma interface de controle remoto. O aluno poderá configurar um equipamento e iniciar uma experiência recebendo a resposta dos dados em tempo real. Permitirá o aluno observar os experimentos pelo vídeo através de seu sistema de câmeras que transmitem as imagens utilizando a tecnologia “streaming”. A Figura 2 ilustra o projeto.



**Figura 2 – WebLab – Um modelo de Laboratório Remoto**

O aluno ao acessar o WebLab, escolhe a experiência que pretende realizar. Em seguida acessa o painel de configuração da experiência configurando-a de acordo com seus objetivos. Pode então iniciar a aquisição de dados visualizando-os através de gráficos, tabelas e medidores. Poderá ainda acompanhar a experiência através de uma janela de vídeo.

Para a interação, comunicação, cooperação e o compartilhamento de informações entre as pessoas podem-se utilizar as ferramentas do LMS (Silvério,2009) que contém: correio eletrônico, listas de discussão, FAQ, bate-papo, sistemas de co-autoria e serviços de teleconferência.

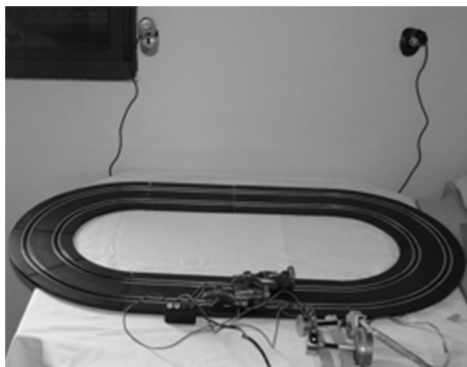
Antes de iniciar o experimento o software de controle, possui um agente pedagógico que pergunta ao aluno se deseja passar por uma explicação sobre o experimento proposto, se a resposta for afirmativa é apresentados um objeto de aprendizagem, o qual irá ilustrar as informações teóricas sobre o experimento.

#### **4. Laboratório Remoto: Autorama controlado via internet.**

Neste experimento os alunos realizam um estudo no cotidiano das grandezas relevantes para sua observação. Propiciando que os mesmos conceituem deslocamento, distância percorrida, intervalo de tempo, velocidade média, velocidade média escalar e velocidade instantâneas. A Figura 3 mostra uma pista de autorama que pode ser controlado pela internet. Os controles dos autoramas que são potenciômetros com fio foram substituídos por potenciômetros de carvão e automatizados com motores de passos, o qual permite o aluno controlar a velocidade dos carrinhos. A velocidade dos carrinhos foi limitada para uma velocidade que os carrinhos não saiam da pista.

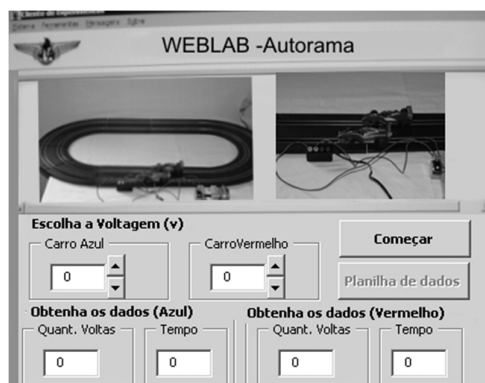
Para obter o roteiro do uso deste experimento, o aluno realiza um cadastro dentro do LMS e se cadastra no curso de Física para ensino médio e acessa a disciplina de Física com o tema: Movimento Uniformemente Variado. Na área do curso, o aluno terá duas opções:

acesso a simuladores (objetos de aprendizagem virtuais) e a objetos de aprendizagem reais (experimentos do WebLab). Ao acessar os experimentos reais, o aluno tem acesso ao software do experimento.



**Figura 3** – Projeto do autorama automatizado.

A interface permite que os alunos ajustem a voltagem dos carrinhos e iniciem o experimento que começa dando um total de 10 voltas, e para cada volta é apresentado o tempo e a quantidade de voltas do carrinho. Após o término do experimento, o botão planilha de dados é habilitado para que o aluno possa obter os dados do experimento com a configuração escolhida. A Figura 4 mostra a interface do experimento.

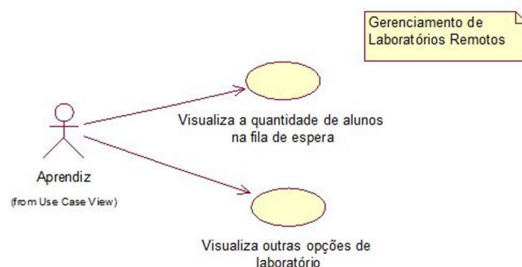


**Figura 4** – Interface do experimento Autorama.

O sistema propicia ao aluno informar qual a velocidade que deseja que o carrinho percorra, e através de sensores infravermelhos obterem quantas voltas e o tempo que o carrinho percorreu desde o início do experimento, permitindo que o aluno realize as anotações dadas pelo sistema de informação, caso o aluno não consiga anotar ou perdeu algum valor no decorrer do experimento, o sistema irá disponibilizar uma tabela, no botão planilha de dados. Após o experimento o aluno poderá criar tabelas especificando a voltagem utilizada no carrinho, criação de gráficos através dos dados obtidos, o tempo de percurso de uma volta, a velocidade em m/s e a velocidade em km/h e por fim a elaboração de um relatório para entregar para o professor (em sala de aula ou mesmo na web). Os conceitos de sistemas de unidades de medidas são apresentados aos alunos antes do experimento através de um agente pedagógico que irá auxiliar no entendimento do sistema.

## 5. Modelo Gerenciador de Laboratórios Remotos

O gerenciador de Laboratório Remoto é o processo que gerencia os aparatos experimentais do *WebLab*. Na Figura 5 apresenta-se o caso de uso.



**Figura 5-** Caso de Uso gerenciamento de laboratórios remotos

**Visualiza a quantidade de alunos na fila de espera:** verifica se o experimento em questão contém filas, avisa para o usuário o tempo de espera e oferece outros objetos de aprendizagem.

**Visualiza outras opções de laboratório:** sugere para o estudante uma lista de experimentos que estejam livres e sejam relacionados com os conhecimentos específicos (este processo está relacionado com a atividade escalonamento dentro do ambiente).

### Estados dos laboratórios Remotos

Os laboratórios remotos passam por quatro estados: criação, pronto, execução, espera e término. A Figura 6 ilustra esses estados:

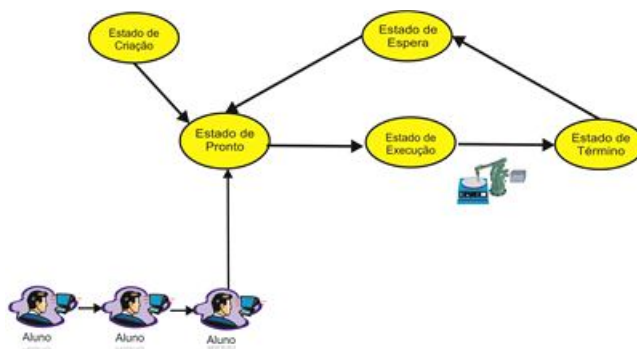
**Estado de Criação:** quando o aluno faz uma solicitação para o sistema de que deseja utilizar o experimento, gerando um processo.

**Estado de Pronto:** quando o experimento está pronto para uso. Neste estado encontram-se os processos dos alunos para utilizar o experimento. Considera-se que o aluno já passou pela fase de contextualização do Laboratório de acesso remoto escolhido e está apenas esperando uma oportunidade para usar o experimento. Caso haja mais alunos para usá-los, estes devem aguardar em uma fila para execução.

**Estado de Execução:** o laboratório de acesso remoto encontra-se em execução, quando utilizado por um ou mais alunos.

**Estado de Espera:** quando o experimento aguarda um novo aluno para ser utilizado.

**Estado de Término:** quando o aluno termina o experimento.



**Figura 6.** Estados do laboratório Remoto

## 6. Modelo de Rede de Petri Colorida dos Experimentos simulando Fila e Tempo

Com a finalidade de medir o tempo de espera dos alunos na fila de um experimento, foi criado um modelo da Figura 7. Nesse módulo simula o recebimento de vários alunos para um mesmo experimento. Quando o experimento está ocupado os alunos são colocados em uma fila. O algoritmo utilizado na fila é o FIFO (*first-in-first-out*). O experimento está desocupado quando não há alunos na fila ou quando o aluno termina o experimento.

Neste módulo vários alunos são representados como Aluno=A..Z, ou seja pode-se ter 24 alunos em uma fila para acessar o experimento, e o campo AT, significa o tempo de utilização do experimento pelo aluno.

A transição *Interface*, representada por uma CPN – Hierárquica, representa a interface do ambiente que apresenta os experimentos e coloca o aluno em uma fila de espera. O place *Filas*, representam as filas que os alunos se encontram.

A transição *Laboratorios*, representam os quatro estados que um laboratório possui tais como estados de Pronto, Execução, Término e Desocupado.

O Place *Fim*, mostra os alunos que fizeram o Laboratório com seus respectivos tempos. A Figura 7 (a) mostra o módulo sistema no estado inicial e a Figura 7 (b) mostra o término da simulação com os nomes dos alunos e o tempo que ficaram no experimento em unidades de tempo.

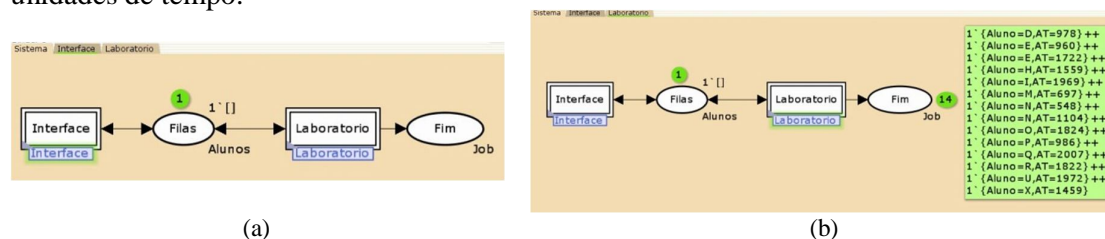


Figura 7. Módulo de Experimentos Filas e Tempo

A rede hierárquica *Interface* apresentada por uma transição de bordas duplas na Figura 7 é representada na Figura 8.

Esta rede apresenta um place *Inicio* que está ligado a uma transição *Alunos escolhem Laboratórios*, que representa a escolha do aluno que será adicionado uma unidade de tempo através de uma função exponencial  $\text{expTime}(100)$ . Através do Place *Tempo de Início* o aluno entra em uma fila de espera, o qual está sendo computado o tempo de espera de cada aluno na fila.

Os alunos são colocados em fila através da função *newJob* que computa o tempo que o aluno permanece na fila.

A Figura 9 podemos observar os estados de um Laboratório, ou seja quando o aluno que se encontra no place *Criacao* vai para o place *Pronto* que representa o estado do laboratório que o aluno está esperando que o experimento esteja disponível para utilização.



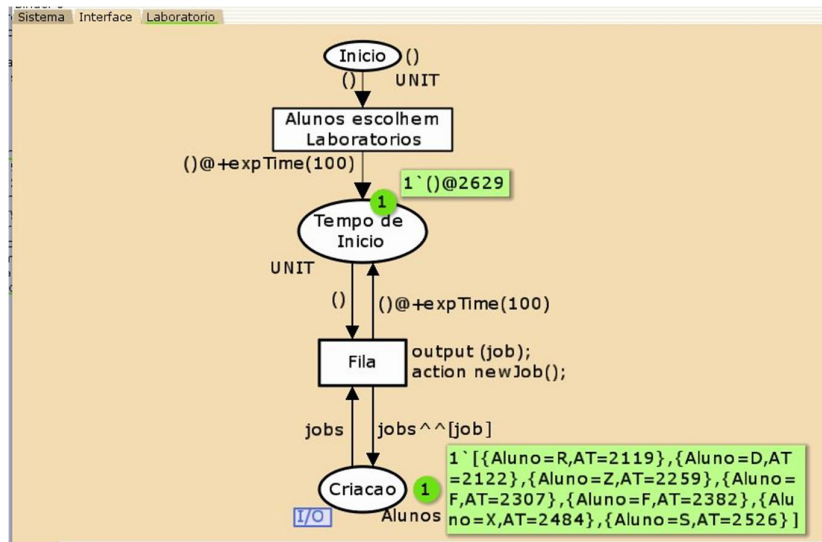


Figura 8. Módulo de Experimentos Filas e Tempo - Interface

Em seguida o aluno vai para o place *Execucao* que será medido o tempo de permanência do aluno no experimento. Na transição *Termino*, o aluno já finalizou o experimento onde podemos ver no place *Fim*, o nome do aluno e o seu tempo de utilização. Quando o Laboratório esta desocupado ele faz uma marcação de tempo no place *Espera* que acumula o tempo que o experimento ficou ocioso durante sua utilização. Os estados apresentados na Figura 6, foram modelados na Figura 9

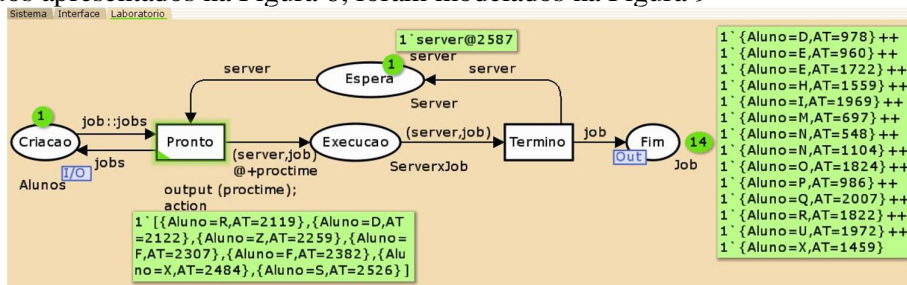


Figura 9. Módulo de Experimentos Filas e Tempo - Laboratórios

Pode-se interpretar os dados da seguinte forma: na Figura 7 (b) no place *Fim* apresenta-se todos os alunos que terminaram o laboratório com o seu tempo de uso. No caso do Aluno=D o tempo foi de 978 unidades de tempo. Nesta simulação a unidade de tempo e expressa em segundos.

Na Figura 9 no place *Criacao*, apresenta o tempo em que os alunos se encontram na fila para utilizar o laboratório, e no place *Espera*, mostra um tempo acumulado de quanto tempo o experimento ficou desocupado.

### 7. Conclusões.

Modelar os estados dos experimentos WebLab por Redes de Petri Coloridas mostra-se útil para estabelecer quais critérios são estabelecidos no disparo de uma transição ou para avançar de uma etapa para outra.

O gerenciamento de filas é realizado através do módulo experimentos que propicia ao usuário a escolha em esperar ou acessar um outro material, e a organização de atividades

individuais específicas é feita através da avaliação diagnóstica que determina em qual unidade de estudo o usuário se encontra.

A modelagem por CPN permite mostrar todas as interações relevantes e disponíveis para cada estado dos laboratórios de acesso remoto, suas ações e estados alcançáveis. Adicionalmente, as CPN ajudam a melhorar as consistências gerais das especificações e sugestões para verificar as propriedades do sistema. A especificação formal possibilitou que os experimentos, baseados na arquitetura WebLab, fossem analisados e verificados.

A abordagem de modelagem por CPN apresenta como benefícios a possibilidade de especificar, verificar e simular as principais funcionalidades do sistema, a possibilidade de ter as Redes de Petri funcionando em paralelo com a arquitetura proposta, realizar simulações para buscar identificar novas possibilidades do que o sistema pode oferecer, tais como feedback, colaboração, verificação do funcionamento do modelo, bem como a análise do desempenho do sistema.

## 8. Referências

- FU, M.C, Simulation Optimization, Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, p.53-61, 2001
- INGALLS, R. G. Introduction to simulation, Proceedings of the Winter Simulation Conference, 7-16, 2001
- JENSEN, Kurt, KRISTENSEN Lars, M. . Coloured Petri Nets; Modelling and Validation of Concurrent Systems. Springer, 2009
- KREHBIEL, D, R. Zerger, and J.K. Piper, "A Remote-Access Lab-VIEW-Based Laboratory for Environmental and Ecological Science," Int'l J. Eng. Education, vol. 19, no. 3, pp. 495-502, 2003.
- KYATERA, <http://kyatera.incubadora.fapesp.br/index.php/us/weblabs>, acessado em 05/10/08
- LANG, D, C. Mengelkamp, R.S. Jager, D. Geoffroy, M. Billaud, and T. Zimmer, "Pedagogical Evaluation of Remote Laboratories in eMerge Project," European J. Eng. Education, vol. 32, no. 1, pp. 57-72, 2007.
- OLIVEIRA, M. J. F., Notas de aula do Curso de Simulação da Área de Pesquisa Operacional do Programa de Engenharia da Produção, COPPE/UFRJ, 1988
- OLIVEIRA, Claudio Rodolfo Sousa, OLIVEIRA, Ivanor Nunes, Pereira, Adilson de Lima, Santos, Helio Lopes , Um Ambiente para a Prática Remota de Aulas Laboratoriais de Física (Determinação de viscosidade dos Líquido), RBIE, Volume 17 Número 1, 2009
- SELMER, A., M. Kraft, R. Moros, and C.K. Colton, "Weblabs in Chemical Engineering Education," Education for Chemical Engineers, vol. 2, pp. 38-45, 2007
- SILVÉRIO, José Silvério Edmundo Germano, kit programe fácil – um kit educacional para subsidiar a programação de microcontroladores em sala de aula, SBIE, 2009
- WEIGHTMAN, A.P.H., P. Culmer, M.C. Levesley, and B.M. Hanson, "An Application of Remotely Controlled Experiments to Perform Feedforward and Feedback Damping Control of an ElectroMechanical Servomechanism," Proc. Third Int'l Conf. Web Information Systems and Technologies, pp. 419-426, Mar. 2007
- LOWE David Senior Member IEEE, MURRAY Steve, LINDSAY Euan, and LIU Dikai, Member, IEEE , Evolving Remote Laboratory Architectures to Leverage Emerging Internet Technologies, IEEE TRANSACTIONS ON LEARNING TECHNOLOGIES, VOL. 2, NO. 4, pag 284 a 294, OCTOBER-DECEMBER 2009