

0010.63742

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Energia e
Automação Elétricas

ISSN 1413-2214
BT/PEA/9926

**Simulação e Análise de Desempenho
de Processos Visando a Otimização
de Sistemas Integrados de Produção**

Cícero Couto de Moraes
Sergio Luiz Pereira
José Roberto R. de Godoy

São Paulo – 1999

FICHA CATALOGRÁFICA

Moraes, Cícero Couto de

Simulação e análise de desempenho de processos visando a otimização de sistemas integrados de produção / C.C. de Moraes, S.L. Pereira, J.R.R. de Godoy -- São Paulo : EPUSP, 1999.

9 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, BT/PEA/9926)

1. Simulação 2. Automação 3. Sistemas a eventos discretos I. Pereira, Sergio Luiz II. Godoy, José Roberto R. de III. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas IV. Título V. Série

ISSN 1413-2214

CDD 003
629.8
003.83

SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE DESEMPENHO DE PROCESSOS VISANDO A OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO

Autores:

Prof. Dr. Cícero Couto de Moraes

Prof. Dr. Sergio Luiz Pereira

Eng. José Roberto R. de Godoy

EPUSP/PEA

GAESI - Grupo de Automação Elétrica em Sistemas Industriais

E-Mail: cicero@pea.usp.br

sergio@pea.usp.br

Resumo:

Este trabalho demonstra a aplicação e análise de ferramentas computacionais de simulação, visando o desenvolvimento de metodologia específica para a otimização da aplicação dos equipamentos de automação e incremento da produção através da eliminação de gargalos e melhor utilização dos dispositivos produtivos da planta. Uma planta industrial de produção de cerveja é tomada como modelo para aferir os resultados e índices de desempenho e demonstrar os benefícios que podem ser obtidos com a previsibilidade da *performance* de diversas configurações sistêmicas.

I Introdução:

I.1 Simulação

A simulação consiste em construir um modelo e executar testes para determinar a *performance* e desempenho do sistema. Ela pode ser encarada como um laboratório em pré-teste para previsão do comportamento do sistema. Desta forma de maneira segura diversas configurações sistêmicas podem ser experimentadas sem que se tenha que pagar o ônus e nem assumir o risco de operacionalizá-las no mundo real.

A representação computacional de um sistema real ou conceitual é efetuada através de modelo. O modelo passa então a ser o "laboratório virtual" que o engenheiro ou analista de sistemas tem ao seu dispor para testar e prever a operação e desempenho do sistema real. O modelo é uma abstração do sistema que contém características e comportamentos que devem retratar o mais fielmente possível o sistema real.

O modelo incorpora quatro componentes:

1. Lógica: descreve as interações entre os processos e postos de trabalho e o comportamento do sistema.

2. Dados: representam as características e especificam as decisões de desempenho dos postos de trabalho.

3. Animação: permite a visualização preditiva do comportamento do sistema.

4. Estatísticas: são relatórios e dados da série de variáveis analisadas durante a simulação. Exemplo destas variáveis são: quantidade de peças produzidas, tempo médio gasto para produzir cada peça, quantidade de peças rejeitadas, etc.

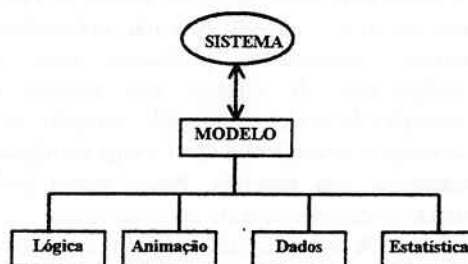


figura 1 - modelamento e simulação

Os diversos tipos de processos podem ser classificados de acordo com a natureza das grandezas ou variáveis controladas. Dentro desta classificação encontram-se quatro tipos:

a) Processos Discretos: as principais variáveis controladas são discretas. As ocorrências são individuais e são denominadas eventos. Acontecem em pontos distintos no tempo. Exemplo: uma peça deixando um célula de montagem ou caminhão chegando a uma balança para ser pesado.

b) Processos Contínuos: as principais variáveis controladas são contínuas. As alterações no processo ocorrem gradualmente (analogicamente). Exemplo: controle de fluidos ou pressão, etc.

c) Processos Híbridos: combinam os dois anteriores.

d) Processos de Serviços: podem ser encarados como processos discretos. Exemplo: a fila de atendimento de um caixa no banco.

I.2 Etapas do Processo de Simulação

A arte da simulação e os benefícios obtidos por ela começam com a capacidade de

construir um modelo que retrate o mais fielmente o sistema real e de especificar quais as variáveis serão aferidas dentro da simulação.

É nesta fase que também deve ser analisado o tipo de processo que se deseja simular, suas principais variáveis e definir qual o *software* mais apropriado para simular o processo definido.

Uma vez definida qual a ferramenta será empregada, constrói-se dentro do ambiente definido o modelo do processo a ser analisado.

Uma vez definida a ferramenta de simulação e construído o modelo do sistema real executa-se o processo de simulação e obtêm-se os resultados de desempenho. Efetua-se a análise dos mesmos e quando eles não apresentam os índices satisfatórios projeta-se uma nova configuração do sistema que implica uma alteração do modelo. Este ciclo se repete até que se atinja o desempenho ideal e cuja configuração sistêmica seja possível. Neste ponto pode-se tomar as decisões quanto ao sistema real.

A figura seguinte ilustra as sucessivas etapas do processo de simulação:

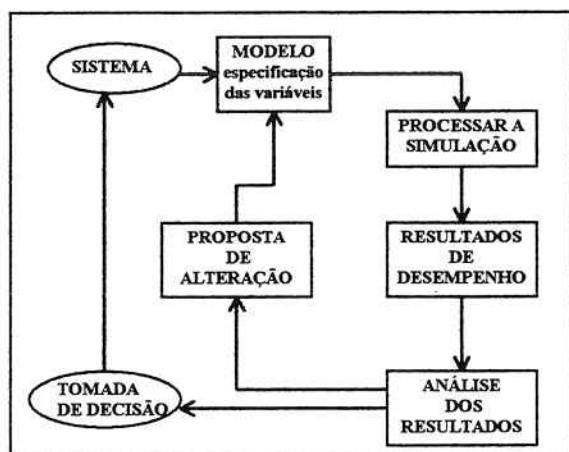


figura 2 - ilustrativo dos procedimentos e processo de simulação

Todo o processo de simulação pode ser dividido em 7 etapas principais:

I.2.1 - Etapa Estudo do Sistema:

A etapa em estudo é dividida em:

a - Descrição do sistema: descrever todas as etapas e as principais características operativas de cada uma delas. Conhecer e aferir quais são os atuais índices de produção do sistema.

b - Compreensão e análise: compreensão e análise implica a identificação da natureza das variáveis controladas e aferidas no processo real. Implica também o conhecimento entre as interações lógicas entre os diversos postos de trabalho e a identificação das metas produtivas.

c - Definição do algoritmo: implica o conhecimento das etapas de cada trabalho dentro do processo produtivo, na natureza do trabalho e na forma como cada tarefa é executada.

d - Representação gráfica por diagrama de blocos da planta produtiva: baseada no item a, b e c a representação gráfica por diagrama de blocos ilustra as principais etapas do processo e contribui para a correta definição do modelo de simulação.

I.2.2 - Etapa Definição do Modelo de Simulação:

A etapa é composta de:

a - Lógica: a lógica define e especifica as diversas interações entre os postos de trabalho e a rota das tarefas e ordens de serviço dentro do modelo de simulação.

b - Dados: implica a quantificação dos índices de desempenho dos postos operativos e do fluxo do trabalho, tais como: tempo de rota entre as estações de trabalho, tempo de processo, taxas de falha, funções de distribuição de processamento e de chegada, definição das variáveis a serem aferidas, etc.

Obs.: todos os itens do primeiro passo são fundamentais para que o modelamento (lógica e dados) seja efetuado de forma que retrate o mais fielmente possível o sistema físico a ser simulado.

I.2.3 - Etapa Processar a Simulação:

O processamento da simulação permite que se obtenha previsões de comportamento e índices de desempenho do sistema real. Alguns cuidados nesta etapa e na anterior possibilitam uma melhor visibilidade da *performance* do sistema bem como maior confiabilidade nos resultados obtidos. Alguns desses cuidados são:

a - utilização de representação (figuras) específica para cada natureza distinta do

trabalho e para os diversos estados dos postos e filas de trabalho. Um exemplo seria posto ocupado ou aguardando a chegada do material a ser processado.

b - Ordenação sistemática do modelo na tela de trabalho em consonância com o *lay-out* da planta.

c - Escolha correta e ajuste dos parâmetros de simulação como: velocidade de processamento, duração da simulação, número de replicações sucessivas, etc.

I.2.4 - Etapa Obtenção dos Resultados de Desempenho:

Processada a simulação o pacote fornece os dados das variáveis e dos índices de desempenho do sistema. O módulo *output analyzer* permite a apresentação gráfica dos resultados da simulação a partir dos arquivos de dados previamente definidos no módulo *statistics* do modelo.

No caso do *software* Arena o módulo *output analyzer* permite a apresentação gráfica dos resultados da simulação a partir dos arquivos de dados previamente definidos no módulo *statistics*.

I.2.5 - Etapa Análise dos Resultados:

Com base nos resultados obtidos na simulação deve-se aferir os índices de tempos e números de ordens de serviço médios, mínimos e máximos nas filas dos postos de trabalho. Comparar com os dados já conhecidos do sistema para verificar a veracidade e a consistência dos dados obtidos do modelo. Verificar a estabilidade do sistema através dos gráficos obtidos via o arquivo de dados e verificar se o comportamento dinâmico nas filas dos postos de trabalho é estável, crescente ou decrescente. Verificar os mesmos quesitos para as taxas de ocupação dos postos de trabalho.

I.2.6 - Etapa Proposta de Alteração:

Com base nos dados obtidos e analisados na 5ª etapa, desenvolver, se necessário, um sistema alternativo e retornar à 2ª etapa para remodelá-lo. Repetir o processo até

a 5ª etapa até que se obtenha os índices objetivados de desempenho.

I.2.7 - Etapa Tomada de Decisão:

Uma vez obtidos os índices de desempenho ótimos ou objetivados com a nova configuração sistêmica, propor a alteração sistêmica envolvendo o planejamento estratégico empresarial.

II Simulação de um Processo Industrial.

II.1 Definição e Descrição do Processo

O processo escolhido para ser simulado é um trecho de uma planta produtora de cerveja, envolvendo a descarga de malte e gride até o forno de cozimento. Este trabalho utiliza o *software* Arena 3.0 da Systems Modeling Corporation e adquirido pelo Convênio Rockwell Automation-EPUSP. As etapas do processo de simulação e resultados aferidos serão apresentados neste trabalho conforme modelo definido anteriormente. A figura 3 ilustra o processo produtivo.

1ª Etapa - Estudo do Sistema:

A entrada de matéria-prima na planta industrial é efetuada no ponto de descarga que abastece a moega. A fábrica recebe dois tipos de matéria-prima: malte e gride. Dependendo da matéria-prima que foi descarregada pelo caminhão a primeira esteira transportadora operará num sentido para abastecer os silos reservatórios de malte ou os silos reservatórios de gride.

A produção é subdividida em quatro macro etapas:

a - Descarga e transporte da matéria-prima para os silos reservatórios:

As carretas que abastecem a planta possuem uma capacidade de transporte de 18.000 kg cada uma.

O tempo de descarga é de 30 minutos.

O tempo para que a moega processe 18.000 kg é de uma hora.

A correia transportadora leva 1h10 min para transportar as 18 toneladas de matéria-prima processada pela moega até os silos intermediários.

- Uma segunda correia transportadora abastece o moinho com parte do mesmo malte. Esse malte é processado durante 10 minutos no moinho e transportado para o silo malte moído sobre o cozinhador.

- Uma correia transportadora deposita 2.500 kg de gride do silo intermediário para o silo de gride sobre o cozinhador.

d - Carregamento e cozimento:

O cozinhador denominado “panela” é carregado em 7 minutos pela batelada de malte e gride.

Em seguida inicia o processo de cozimento. Quando esse processo termina o conteúdo é descarregado para outro setor da planta. O cozinhador é limpo.

O processo de carregamento, cozimento, retirada e limpeza leva um total de 2 horas.

2º Etapa - Definição do modelo de simulação:

A descrição do sistema enfocará até os silos intermediários de malte; no modelo, os módulos mostrados na figura 4 representam a planta real. O *software* Arena dispõe de módulos padronizados para o modelamento da planta. A figura 4 ilustra o modelo de simulação da fábrica produtora de cerveja construído no ambiente Arena. Os módulos lógicos e funcionais que modelam a planta serão descritos a seguir:

1º módulo: arrive

Representa a chegada de malte ao sistema (vide Apêndice). A unidade será 50 kg, sendo que essa é a unidade medida pela balança. Assim sendo, para efeito de discretização da simulação cada caminhão de 18.000 kg carregará o sistema com 360 blocos de 50 kg cada um.

2º módulo: servidor (descarga_m)

Simula a descarga do caminhão. O tempo de processo é 360 blocos de 50 kg a cada 30 minutos. Portanto, o tempo de processo é de 0,00833 minutos por bloco.

O tempo de rota até o próximo servidor moega é zero, pois ambos estão fisicamente integrados num só espaço da planta.

3º módulo: servidor (moega)

Simula o processamento na moega. O tempo de processamento é de 0,0167 minutos por bloco.

O tempo de rota até os silos de armazenamento é de 0,194 minutos por bloco, uma vez que a correia transportadora necessita de 70 minutos para transportar 360 blocos de 50 kg cada um.

4º módulos: servidor silo_1, assign, servidor razão_ss1, assign, assign, tally

Os seis módulos seguintes simulam a quantidade de malte que fica armazenada nos silos intermediários.

O primeiro servidor (silo_1) opera como entrada dos blocos no silo.

O primeiro *assign* calcula a razão de entrada definida como a variável (vol_e_sml). O seu incremento é de 50 kg a cada bloco recebido. O valor em tempo real de simulação da taxa de chegada é mostrado no módulo *animate* (vol. de entrada do silo malte).

O segundo servidor (razão_ss1) opera para dar o atraso necessário por bloco para juntamente com o próximo *assign* calcular o volume de saída do silo.

O módulo *assign* conectado ao servidor razão_ss1 calcula o volume de saída através da variável vol_s_sml. O volume de saída é mostrado no *animate* (volume de saída do silo malte).

O próximo módulo *assign* calcula o volume armazenado no silo computando a diferença entre a entrada e a saída mais o retorno do módulo *choose* quando os silos intermediários estão carregados. O volume é mostrado no módulo *animate* (volume do silo de malte).

5º módulo: servidor (balan_m)

Simula a entrada do malte na balança tipo monjolo. O tempo de processo é de 0,283 minutos por bloco e o tempo de rota até os silos intermediários é de 0,4 minutos por bloco.

6º módulos: servidor silo_int, assign, choose, assign, server, assign, assign, depart

De forma análoga ao 4º grupo de módulos, calculam o volume nos silos intermediários de malte.

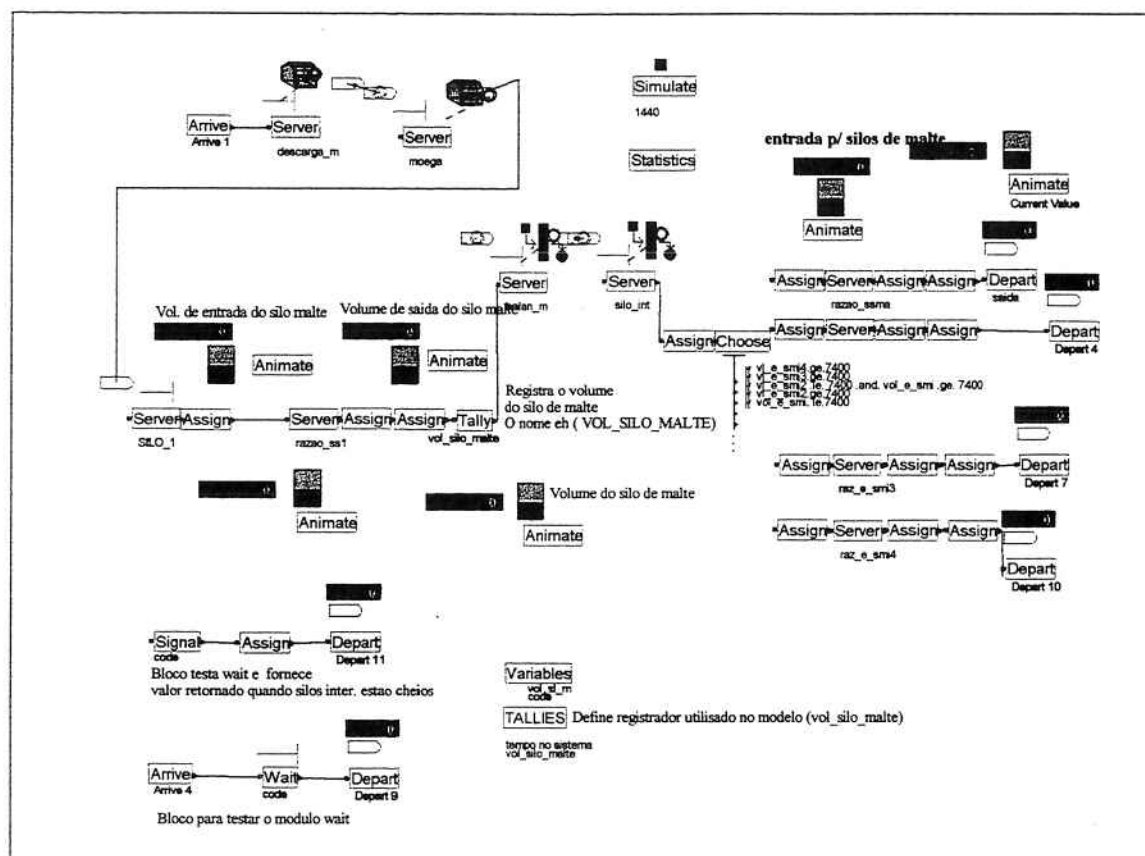


figura 4 - modelo de simulação

Neste modelo não está sendo computado o volume de saída. Portanto, cada silo intermediário é enchido até a sua capacidade máxima (7.500 kg) e depois o fluxo do malte é desviado para o próximo silo disponível. Quando os quatro silos estão completos o fluxo é interrompido, mas na simulação esta interrupção é computada como o redirecionamento do fluxo do silo de armazenamento para os módulos *signal* e *assign*, os quais farão, juntamente com o último *assign* do 4º grupo de módulos, a compensação volumétrica da retirada do silo de malte.

3º, 4º e 5º Etapas - Processar a simulação análise dos resultados

Nestas simulações de operação a planta operará durante 1440 minutos, ou seja, um dia completo com três turnos de 8 horas cada um.

Os índices aferidos são: tempos médio e máximo de cada bloco de 50 kg na fila da

plataforma de descarga e na moega, números médio, máximo e final de blocos de 50 kg na fila da plataforma de descarga e na moega e a tonelagem final estocada nos silos intermediários. Também será determinado quanto tempo o sistema necessita para atingir 30% da capacidade de armazenamento nos silos intermediários. Tais índices permitem a análise da *performance* da planta.

III Resultados e Conclusões

Dentre os resultados conseguidos da simulação obtém-se as seguintes conclusões com relação aos tópicos abaixo:

III.1 Determinação do tempo necessário para que o sistema atinja 30% da sua capacidade de armazenamento.

A primeira questão de interesse nesta pesquisa diz respeito a quanto tempo e recursos o sistema necessita, uma vez colocado em

operação e sendo abastecido com veículos a uma taxa de chegada de um veículo por hora segundo a função probabilística exponencial, para que o nível dos reservatórios dos silos de armazenamento atinja 30% da sua capacidade máxima (1.800.000 kg)?

Verifica-se também que com a taxa de chegada de um veículo por hora qualquer incremento dos recursos da planta como número de plataformas de descarga, número de moegas, ou aumento da velocidade das correias transportadoras, não implicarão nenhum incremento da estocagem dos silos.

III.2 Em relação ao incremento dos recursos na planta instalada e determinação dos gargalos produtivos.

Para se determinar o(s) gargalo(s) produtivo(s) da planta adotou-se a seguinte estratégia na simulação:

Fixa-se uma determinada configuração da planta e incrementa-se a razão de chegada de veículos. Para cada razão específica de chegada obtêm-se os resultados pertinentes ao desempenho do sistema durante o período de operação de 1440 min, ou seja, um dia completo de três turnos de oito horas cada um.

Esses resultados estão mostrados nas tabelas 2 e 3, e nos gráficos 1, 2 e 3.

Analisando as tabelas e gráficos verifica-se que até o limite de uma taxa de veículos de um a cada 20 minutos o gargalo ou ponto de estrangulamento da produção é a moega. O incremento do armazenamento depende do número de moegas e da razão da taxa de chegada. O incremento de recursos em diversos outros setores da planta não implicará nenhum ganho de produtividade.

cap. de descarga (n°)	cap. da moega (n°)	route time * min.	armazenamento do silo (kg)	percentual do total de volume dos silos de armazenamento
1	1	0,194	1.802.212	30 %
2	1	0,194	1.822.000	33 %
1	2	0,194	1.822.000	33 %
2	2	0,194	1.822.200	33 %
1	1	0,136	1.802.300	30 %
1	2	0,136	1.822.400	33 %

TABELA 1 - SIMULAÇÃO PARCIAL DA PLANTA INDUSTRIAL PRODUTORA DE CERVEJA.
RAZÃO DE CHEGADA DE CAMINHÕES: EXPO(60).
TEMPO DE SIMULAÇÃO DE OPERAÇÃO = 6500 MIN.

* trata-se do tempo de rota entre o servidor Moega e o processo seguinte.

cap. descarga (n°)	cap. moega (n°)	route time *(min)	tempo de fila de cada bloco de 50 kg no servidor descarga		tempo de fila de cada bloco de 50 kg no servidor moega		n° de blocos de 50 kg (descarga)			n° de blocos de 50 kg (moega)			estocagem final após período de operação (kg)
			(min)		(min)								
			MED.	MAX.	MED.	MAX.	MED.	MAX.	FINAL	MED.	MAX.	FINAL	
1	1	0,194	29,72	105,94	257,89	546,6	234,72	1272	231	2020	3488	2715	398700
2	1	0,194	9,31	32,77	281,5	583,45	74,54	788	102	2180,2	3667	2843	398700
1	2	0,194	29,72	105,94	0,16	0,56	234,72	1272	231	1,24	7	1	534200
2	2	0,194	9,31	32,77	20,52	73,52	74,54	788	102	161,08	882	128	534250
3	2	0,194	5,53	17,76	24,34	88,51	44,22	642	0	191,4	1062	232	534250
2	3	0,194	9,31	32,77	4,84	20,5	74,54	788	102	38,2	369	65	537200
3	3	0,194	5,53	17,76	8,62	35,41	44,22	642	0	68,3	639	168	537250
3	4	0,194	5,53	17,76	3,81	15,1	44,22	642	0	30,37	361	105	540200
4	4	0,194	3,88	10,28	5,43	22,52	31,05	496	0	43,38	540	104	540250

TABELA 2 - SIMULAÇÃO PARCIAL DA PLANTA INDUSTRIAL PRODUTORA DE CERVEJA.
RAZÃO DE CHEGADA DE CAMINHÕES: EXPO(50).
TEMPO DE SIMULAÇÃO DE OPERAÇÃO: 1440 MIN.

* trata-se do tempo de rota entre o servidor Moega e o processo seguinte.

cap. descarga (n°)	cap. moega (n°)	route time *(min)	tempo de fila de cada bloco de 50 kg no servidor descarga		tempo de fila de cada bloco de 50 kg no servidor moega		n° de blocos de 50 kg (descarga)			n° de blocos de 50 kg (moega)			estocagem final após período de operação (kg)
			(min)		(min)								
			MED.	MAX.	MED.	MAX.	MED.	MAX.	FINAL	MED.	MAX.	FINAL	
1	1	0,194	303,6	547,17	360,83	721,66	5320,2	9145	8633	4331,5	8664	8663	401150
2	1	0,194	20,26	62,73	520,63	1058,8	364,67	1508	0	9286,6	17369	17297	401150
1	2	0,194	303,6	547,17	1,72	3,45	5320,2	9145	8633	20,7	42	41	832050
2	2	0,194	20,26	62,73	285,03	534,21	364,67	1508	0	4975,3	8818	8674	832050
3	2	0,194	8,65	31,16	296,73	538,7	155,66	1125	0	5184,3	9066	8674	832050
2	3	0,194	20,26	62,73	44,54	111,59	364,67	1508	0	797,12	2005	238	1253700
3	3	0,194	8,65	31,16	56,05	140,69	155,66	1125	0	1005,6	2529	237	1253700
4	3	0,194	5,40	18,66	59,3	145,69	97,3	900	0	1064	2619	237	1253700
3	4	0,194	8,65	31,16	11,75	42,23	155,56	1125	0	211,5	1012	0	1266300
4	4	0,194	5,40	18,66	14,97	49,64	97,3	900	0	269,47	1192	0	1266300

TABELA 3 - SIMULAÇÃO PARCIAL DA PLANTA INDUSTRIAL PRODUTORA DE CERVEJA.
RAZÃO DE CHEGADA DE CAMINHÕES: EXPO(20).
TEMPO DE SIMULAÇÃO DE OPERAÇÃO: 1440 MIN.

* trata-se do tempo de rota entre o servidor Moega e o processo seguinte.

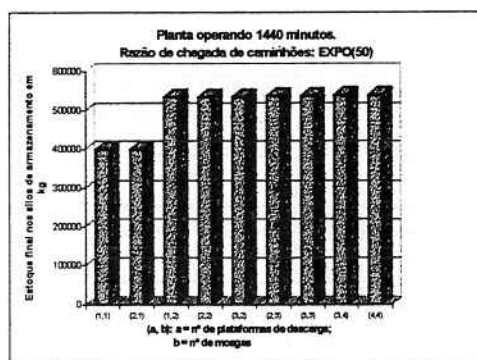


GRÁFICO 1

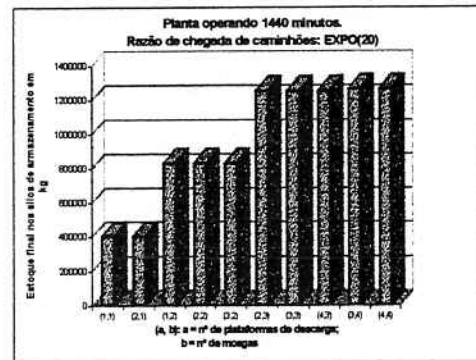


GRÁFICO 2

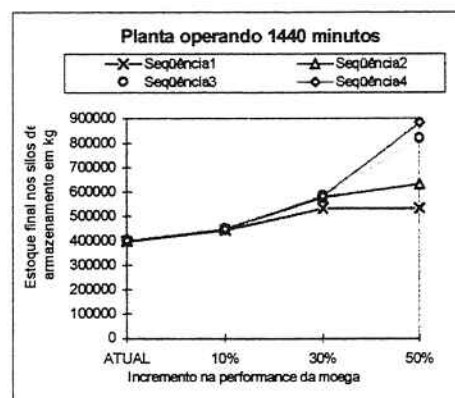


GRÁFICO 3

- Sequência 1: refere-se à razão de chegada de caminhões EXPO(50)
- Sequência 2: refere-se à razão de chegada de caminhões EXPO(40)
- Sequência 3: refere-se à razão de chegada de caminhões EXPO(30)
- Sequência 4: refere-se à razão de chegada de caminhões EXPO(20)

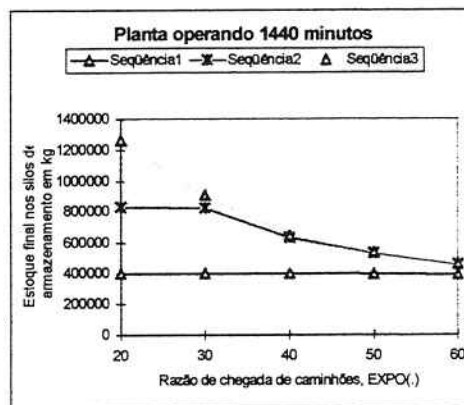


GRÁFICO 4

- Sequência 1: refere-se às combinações (1, 1) e (2, 1).
- Sequência 2: refere-se às combinações (1, 2), (2, 2) e (3, 2).
- Sequência 3: refere-se às combinações (2, 3), (3, 3), (3, 4) e (4, 4).

Cada combinação é da forma (a, b), com a = n° de plataformas de descarga e b = n° de moegas

III.3 Incremento da capacidade produtiva do gargalo mediante investimentos de automação.

Identificada a moega como o gargalo da planta, deseja-se saber o quanto se terá de incremento de produção se forem feitos investimentos para a melhoria de *performance* da moega. Estes investimentos em automação da moega visando à melhoria de desempenho serão analisados para todas as taxas de chegada de veículos e supondo-se uma melhoria de desempenho de 10%, 30% e 50% respectivamente.

O gráfico 4 ilustra os resultados obtidos na simulação.

Vê-se que a melhoria da *performance* da moega implica o aumento da capacidade de armazenamento, o que pode inclusive implicar uma estocagem de 104,6% maior de malte quando ela é carregada com caminhões chegando a uma taxa de um a cada 30 minutos, desde que ela esteja operando com um incremento de 50% de sua *performance*.

Tal índice de produção da planta operando normalmente somente seria obtido se houvesse duas moegas. Ou seja, uma moega operando com incremento de 50% de desempenho produz nesta configuração de planta o mesmo que duas moegas operando normalmente.

Esses dados podem ser levados em consideração para, por exemplo, justificar o quanto se deve ter de investimentos em automação visando ao incremento de *performance* da moega para aumentar-se a velocidade de estocagem.

V Bibliografia

- Pereira, Sergio L. “ Aspectos sobre Processos Automatizados de Pesagem Rodoferroviária: Uma Proposta de Modernização de Postos em Operação “ - Tese de Doutorado, São Paulo, EPUSP, 1995
- Peterson, J. L. **Petri net theory and modelling of systems**. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1981.
- Gelenbe, E.; Pujolle, G. **Introduction to queuing networks**. John Wiley, New York, 1987.
- Kleinrock, L. **Queuing systems**. New York, John Wiley, 1975
- Morrison, N. **Introduction to sequential smoothing and prediction**. New York, McGraw-Hill, 1969.
- Hax, CA ; Candea D. **Production and inventory management**. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1984.
- Pereira, Sergio L. “ **Simulação e Análise de Desempenho de Planta Industrial Utilizando Software Arena Visando à Otimização de Sistemas Integrados de Produção** “. Relatório Técnico Convênio EPUSP-Rockwell Automation, 1997
- **Arena - User's Guide**. Systems Modeling Corporation, 1996
- **Arena - Professional Edition Reference Guide**. Systems Modeling Corporation, 1994-1996

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PEA/9301 - Alguns Aspectos do Problema de Planejamento de Sistemas de Transmissão sob Incertezas - CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN, ERNESTO JOÃO ROBBA
- BT/PEA/9302 - Vibrações em Motores Elétricos Provocadas por Forças Magnéticas - ORLANDO SILVIO LOBOSCO, HENRIQUE PRADO ALVAREZ
- BT/PEA/9303 - Corrente Contínua em Alta Tensão: Aplicação de Equipamentos Elétricos e Modelos para Análises de Confiabilidade - LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9504 - Automação e Informatização Aplicadas a Controle e Supervisão de Processos de Pesagem - EVALDO ARAGÃO FARQUI, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/9505 - Modernização e Reabilitação de Usinas Hidrelétricas - DJALMA CASELATO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9506 - Estudo do Campo Elétrico Provocado por Linhas de Transmissão em Corrente Alternada - CELSO PEREIRA BRAZ, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9507 - Aspectos Sobre Processos Automatizados de Pesagem Rodoviária: Uma Proposta de Modernização de Postos em Operação - SERGIO LUIZ PEREIRA, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9508 - Usinas Hidrelétricas em Rotação Ajustável: Novas Premissas para o Planejamento Energético - MARCO ANTONIO SAIDEL, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9509 - Desenvolvimento de um Sistema de Automação de Subestações pela integração de Módulos de Software e Hardware Existentes no Mercado Brasileiro - L. C. MAGRINI, J. A. JARDINI, S. COPELIOVITCH, N. KABA FILHO
- BT/PEA/9510 - Proposta de um Modelo para Estudos de Aplicação de Compensadores Estáticos em Sistemas de Potência - JOSÉ TOSHIYUKI HONDA, LUIS CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/9511 - Metodologia e Testes para Redução das Distâncias Elétricas entre Fases de Barramentos de Subestações de 138kV Abridadas, ANDRÉ NUNES SOUZA, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9512 - Avaliação da Severidade da Poluição para o Dimensionamento da Isolação das Redes Elétricas - ARNALDO G. KANASHIRO, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/9513 - Processos Auto-Adaptativos para Cálculo de Campos Eletromagnéticos pelo Método dos Elementos Finitos - LUIZ LEBENSZTAJN, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9514 - Investigação Experimental sobre os Arcos Sustentados em Sistemas Elétricos de Baixa Tensão - FRANCISCO H. KAMEYAMA, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/9515 - Fast Voltage Compensation: A Mean to Improve the Quality of Energy Supply - H. ARANGO, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9516 - Modelo Avançado para Planejamento de Sistemas Energéticos Integrados Usando Recursos Renováveis - LUIZ ANTONIO ROSSI, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9601 - Metodologias para Planejamento de Sistemas de Distribuição: Estado-da-Arte e Aplicações - PAULO ROBERTO NJAIM, CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9602 - Integração de Relés Digitais em Sistemas de Automação de Subestação - JERÔNIMO CAMILO SOARES JR., JOSÉ A. JARDINI, LUIZ C. MAGRINI
- BT/PEA/9603 - Paradigma de Planejamento sob Incertezas - Aplicação ao Planejamento dos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - ALBERTO BIANCHI JUNIOR, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9604 - Um Sistema de Controle de Velocidade para Motor de Indução Trifásico - CELSO KAZUMI NAKAHARADA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9605 - Controle Vetorial de Motores de Indução, Independente das Alterações de Parâmetros da Máquina - NERY DE OLIVEIRA JÚNIOR, WALDIR PÓ
- BT/PEA/9606 - Compactação de Subestações de 145 kV Através da Redução das Distâncias entre Fases - GERVASIO LUIZ DE CASTRO NETO, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9607 - Curvas de Carga de Consumidores Industriais - Agregação com Outras Cargas - RONALDO PEDRO CASOLARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9608 - Utilização de Curvas de Carga de Consumidores Residenciais Medidas para Determinação de Diversidade de Carga, e Carregamento de Transformadores de Distribuição - EDUARDO LUIZ FERRARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9609 - Comportamento Elétrico de Cabos Cobertos e Pré-Reunidos pelo Método dos Elementos Finitos - JOÃO JOSÉ DOS SANTOS OLIVEIRA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9701 - Repotenciação de Hidrogeradores: Uma Proposta de Metodologia de Análise e Implantação - FÁBIO SALOMÃO FERNANDES SÁ, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.

- BT/PEA/9702 - Desenvolvimento de um Sistema de Automação para um Sistema de Automação para um Centro de Operação da Distribuição - PAULO SÉRGIO MIGUEL SURUR, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9703 - Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição Utilizando Programação Matemática Probabilística - MARIÂNGELA DE CARVALHO BOVOLATO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9704 - Técnicas de Inteligência Artificial Aplicadas ao Problema de Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica - SALETE MARIA FRÓES, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9705 - Aproveitamento Funcional de Sistemas de Controle e Proteção Digitais em Subestações de Distribuição - JOSÉ LUIZ PEREIRA BRITTES, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9706 - Avaliação de Algoritmo para Proteção Diferencial de Transformadores - LUÍS SÉRGIO PIOVESAN, EDUARDO CÉSAR SENER
- BT/PEA/9707 - Sistema de Proteção para Falhas de Alta Impedância - CAIUS VINICIUS SAMPAIO MALAGODI, EDUARDO CÉSAR SENER
- BT/PEA/9708 - Um Ambiente para Planejamento da Operação de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - KLEBER HASHIMOTO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9709 - Análise do Custo - Benefício da Instalação de Equipamentos de Proteção em Redes Aéreas de Distribuição - ANTONIO CLAUDINEI SIMÕES, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9710 - Planejamento Integrado de Recursos Energéticos - PIR - para o Setor Elétrico - MIGUEL EDGAR MORALES UDAETA, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9711 - Análise de Defeitos no Motor de Indução Trifásico para Predição de Falhas Incipientes - JOSÉ ANTONIO URCIA MISARI, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9712 - Gerenciamento de Transformadores de Distribuição com Análise na Perda de Vida - CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN, VLADIMIR DUARTE BELCHIOR
- BT/PEA/9713 - Uma Nova Metodologia para a Avaliação de Sistemas de Aterramento Metro-Ferrovíários - JOSÉ AUGUSTO PEREIRA DA SILVA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9714 - Um Exemplo de Decomposição de Fluxos em Transformadores - NICOLAU IVANOV, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9715 - Custos de Transporte de Energia Elétrica - Análise de Metodologias - DÁRIO TAKAHATA, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9716 - Bancada de Ensaio para a Avaliar o Comportamento de Acionamentos Controlados por Inversores PWM - JOSÉ ANTONIO CORTEZ, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9717 - Integração de Técnicas de Diagnóstico de Falhas em Motores de Indução Trifásicos ao Sistema de Gerenciamento da Manutenção Industrial - JOSÉ A. URCIA MISARI, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9801 - Análise de Confiabilidade para Gerenciamento Operacional de Sistemas Automatizados de Pesagem Rodoviária - RUBENS LOPES ROLIM, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9802 - Projeto de um Ondulador Híbrido e Estudo de Onduladores Derivados de Solenóide, para Utilização em Laser a Elétrons Livres - FRANCISCO SIRCILLI NETO
- BT/PEA/9803 - Configuração de Redes de Distribuição de Energia Elétrica com Múltiplos Objetivos e Incertezas através de Procedimentos Heurísticos - CARLOS C. BARIANI DE OLIVEIRA, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9804 - Conceituação e Aplicação de Metodologia de Gerenciamento pelo Lado da Demanda em uma Empresa Distribuidora de Energia Elétrica - FERNANDO MONTEIRO DE FIGUEIREDO, JOSÉ ANTÔNIO JARDINI
- BT/PEA/9805 - Acoplamento Circuito Elétrico - Método dos Elementos Finitos em Regime Transitório Utilizando a Metodologia de Dommel - NANCY MIEKO ABE, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9806 - Modelo de Arco Elétrico Aplicado ao Estudo da Interrupção da Corrente em Disjuntores de Média Tensão - LUCILIO CARLOS PINTO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9807 - Proteção para Falta de Alta Impedância Utilizando o Sistema de Rádio Troncalizado - MARCO ANTONIO BRITO, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/9808 - Contribuição ao Estudo e Projeto dos Motores Síncronos de Relutância - IVAN EDUARDO CHABU, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9809 - Cabos Cobertos: Metodologia para a Determinação da Espessura da Cobertura - ANTONIO PAULO DA CUNHA, JOSÉ ANTÔNIO JARDINI
- BT/PEA/9810 - Eletrificação Rural - Avaliações em São Paulo - MARCELO APARECIDO PELEGRINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/9811 - Política de Eletrificação Rural em São Paulo - LUIZ HENRIQUE ALVES PAZZINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/9812 - Uso Racional e Eficiente de Energia Elétrica: Metodologia para a Determinação dos Potenciais de Conservação dos Usos Finais em Instalações de Ensino e Similares - ANDRÉ LUIZ MONTEIRO ALVAREZ, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/9813 - Diretrizes para a Regulação da Distribuição de Energia Elétrica - JAMES S. S. CORREIA, LINEU BELICO DOS REIS

- BT/PEA/9814 - Distribuição da Tensão de Impulso em Enrolamentos de Transformadores de Distribuição - PEDRO LUÍS SANTUCCI DE MENDONÇA, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JÚNIOR
- BT/PEA/9815 - Estudo Comparativo entre os Diversos Métodos de Determinação do Rendimento de Motores de Indução - FRANCISCO ANTONIO MARINO SALOTTI, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9816 - A Nodal Analysis Approach Applied to Electric Circuits Coupling in Magnetodynamic 2D FEM - MAURÍCIO CALDORA COSTA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9817 - Informatização e Automação dos Órgãos Gestores de Mão de Obra - EDUARDO MARIO DIAS, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9818 - Frequência de Ocorrência de Sobretensões Originárias de Descargas Atmosféricas em Linhas de Distribuição - NELSON MASSAKAZU MATSUO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9819 - Um Método de Imposição de Pólos no Estudo da Estabilidade de Redes Elétricas a Pequenas Perturbações - PERCIVAL BUENO DE ARAUJO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9820 - Inter-Relação do Planejamento Agregado de Investimentos com o Planejamento Localizado de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - JUCEMAR SALVADOR SIMÕES, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9821 - A Produção de Energia Através das Células de Combustível - JOSÉ LUIZ PIMENTA PINHEIRO, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9822 - Automação de Processos - Revisão e Tendências - SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9823 - Metodologia para Seleção e Gerenciamento de Transformadores e Distribuição, Aplicando Técnicas de Redes Neutrais Artificiais - SE UN AHN, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9901 - Contribuição ao Modelamento e Simulação de Motores em Ímãs Permanentes e Comutação Eletrônica de Alta Rotação - WANDERLEI MARINHO DA SILVA, CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/9902 - Estudos de Sistemas de Potência e Automação: Plantas Industriais de Grande Porte - MAURÍCIO G. M. JARDINI, JOSÉ A. JARDINI
- BT/PEA/9903 - Synchronous Machines Parameters Identification Using Load Rejection Test Data - E. C. BORTONI, J. A. JARDINI
- BT/PEA/9904 - Identificação de Locais e Opções Tecnológicas para Implantação de Termoelétricas no Sistema Elétrico Brasileiro: Contribuição ao Estado da Arte e Aplicação ao Caso do Gás Natural - ELIANA APARECIDA FARIA AMARAL FADIGAS, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9905 - Sistema de Manutenção Preventiva de Subestações: Uma Abordagem Semântica para o Monitoramento Integrado - ELIAS ROMA NETO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9906 - Previsão das Perdas Magnéticas na Presença de Harmônicos - MARCELO S. LANCAROTTE, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9907 - Comportamento do Aterramento de Sistemas e Equipamentos de Distribuição sob Impulso - CLEVERSON LUIZ DA SILVA PINTO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9908 - Modelo de Sistema de Supervisão e Controle Operacional de Terminais de Contêineres - LEVI SALVI, EDUARDO MARIO DIAS
- BT/PEA/9909 - Medição de Altas Correntes em Frequência Industrial: Instrumentação, Dispositivos de Medição e Calibrações - HÉLIO EIJI SUETA, GERALDO FRANCISCO BURANI
- BT/PEA/9910 - Conversores Auto-Comutados Aplicados em Derivações de Sistemas de Transmissão de Corrente Contínua e Alta Tensão - WILSON KOMATSU, WALTER KAISER
- BT/PEA/9911 - Análise de Desempenho de Sistemas de Aterramento em Alta Frequência pelo Método dos Elementos Finitos - ANGELO PASSARO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO, VIVIANE CRISTINE SILVA
- BT/PEA/9912 - Simulação de Motores "Shaded Pole": Uma Nova Abordagem Analítico-Numérica - PASCHOAL SPINA NETO, SÍLVIO IKUO NABETA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9913 - Estimadores de Estado para Sistemas de Potência: Análise do Estado da Arte - CLEBER ROBERTO GUIRELLI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9914 - Análise sobre o Comportamento de Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas Utilizando o Método dos Elementos Finitos - SEBASTIÃO C. GUIMARÃES JR., LUCIANO MARTINS NETO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9915 - Automatização do Atendimento a Reclamações de Interrupção de Energia Elétrica - H. K. Kiyohara, L. C. Magrini, E. P. PARENTE, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9916 - Controle Digital de Tensão e Reativos - PAULA S. D. KAYANO, LUIZ CARLOS MAGRINI, LINEU BELICO DOS REIS, ANTONIO JOSÉ GOMES CARMO, ELIAS DE SOUZA NETO
- BT/PEA/9917 - Localizadores Digitais de Falhas em Linhas de Transmissão - CARLOS EDUARDO DE MORAIS PEREIRA, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9918 - Religamento Monopolar em Linhas de Transmissão - Propostas de Uma Ferramenta para Investigações Paramétricas - IVANIL POMPEU, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9919 - Viabilidade Técnica de Abertura Monopolar Permanente em Linhas de Transmissão Extra Alta Tensão - FABIANA AP. DE TOLEDO SILVA, JOSÉ ANTONIO JARDINI

BT/PEA/9920 – Avaliação do U-Net em Custers com Rede My com Rede Myrinet – PAULO A. GEROMEL, SERGIO T. KOFUJI

BT/PEA/9921 – SAG – Sistema de Apoio Gerencial via Internet – ADRIANO GALINDO LEAL, JOSÉ ANTONIO JARDINI

BT/PEA/9922 – Desequilíbrio de Tensão em Redes Secundárias de Distribuição – PAULO VINÍCIUS SANTOS VALOIS, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN

BT/PEA/9923 – Sistema Não Lineares Controlados pela Lógica Difusa: Uma Aplicação em Acionamentos Constituídos por Motores Assíncronos – WERNER W. PACHECO LUJAN, CÍCERO COUTO MORAES

BT/PEA/9924 – Arborescência em Cabos Elétricos de Média e Alta Tensão – JOÃO JOSÉ ALVES DE PAULA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JÚNIOR

BT/PEA/9925 – Estudo para Otimização de Desempenho de Plantas Industriais Automatizadas – ANTONIO ORLANDO UGULINO, SERGIO LUIZ PEREIRA

