



VRAnalyst

Manual do Usuário



www.vrtech.com.br

23 de fevereiro de 2006

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Estatística na Indústria	2
1.2	O que é o VRAnalyst	2
1.3	Aplicações	3
1.4	Instalação	3
1.4.1	Controle de Uso	3
1.4.2	Instalando VRAnalyst	4
1.5	Resolução de Problemas de Instalação	4
2	Estatística Industrial	7
2.1	Conceitos Básicos	8
2.1.1	Estatística	8
2.1.2	Variabilidade	8
2.1.3	População e Amostra	8
2.1.4	Experimentos	9
2.1.5	Variáveis	9
2.1.6	Funções	10
2.1.7	Parâmetros	10
2.2	Controle Estatístico de Processo	10
2.2.1	Introdução	11
2.2.2	Variabilidade	11
2.2.3	Cartas de Controle	12
2.2.4	Índices de Capabilidade	17
2.3	Modelagem Estatística de Processos	18
2.3.1	Motivação	18
2.3.2	Regressão Multivariável	19

2.3.3	Tópicos Avançados	24
3	Utilização do VRAnalyst	27
3.1	Inicializando o VRAnalyst	28
3.2	Ambiente de Trabalho	28
3.3	Barra de Comandos	28
3.3.1	Barra de Menus	29
3.3.2	Barra de Atalhos	30
3.4	Árvore de Produtos	30
3.5	Janela de Abas	32
3.5.1	Módulo de Entrada de Dados	32
3.5.2	Módulo de CEP	34
3.5.3	Módulo de Modelagem	37
3.5.4	Módulo de Simulação	41
4	Exemplos	47
4.1	Controle Estatístico de Processos	48
4.1.1	Carta para Variáveis	48
4.1.2	Carta para Atributos	49
4.2	Modelagem Estatística de Processos	51
4.2.1	Predição do consumo de vapor em uma indústria	52
4.2.2	Predição do calor de endurecimento de amostras de cimento	55
4.2.3	Predição da taxa de queima de cigarros	58
4.2.4	Predição dos indicadores de qualidade de um creme de aplicação facial	61

Direitos Autorais

Os direitos autorais deste programa/rotina de computador e documentos associados são propriedade da VRTech Tecnologias Industriais Ltda e são fornecidos mediante um termo de licença que contém restrições de uso.

É proibida a duplicação, distribuição, cópia ou reprodução deste programa/rotina de computador e documentos associados, no todo ou em parte, sob quaisquer formas ou por quaisquer meios (eletrônico, gravação, fotocópia, distribuição na Web e outros), sem permissão expressa da VRTech Tecnologias Industriais Ltda.

(C) 2004-2006 VRTech Tecnologias Industriais Ltda.

Todos os direitos reservados.

VRAnalyst é uma marca registrada da VRTech Tecnologias Industriais Ltda. Quaisquer outras marcas, registradas ou não, mencionadas nesta documentação são de propriedade dos seus respectivos titulares. Todos direitos reservados.

Suporte e Contato

Para a obtenção de suporte entre em contato com a VRTech:

- Na internet www.vrtech.com.br
- Através de correio eletrônico suporte@vrtech.com.br

Símbolos e Convenções

Neste documento a seguinte notação é considerada:



Nota: uma nota, por exemplo: Por padrão, o VRAnalyst é iniciado no modo normal. Para passar para o modo de otimização, basta assinalar o *check box* correspondente na parte inferior esquerda da tela. Uma vez no modo de otimização, basta desmarcar o *check box* para retornar ao modo normal.



Atenção: uma mensagem de advertência, por exemplo: O uso dos modelos muito flexíveis, principalmente o cúbico e o Box-Tidwell, deve ser evitado em situações onde existam poucas observações experimentais disponíveis pois, quando os mesmos são construídos com base em um número pequeno de observações, a incerteza associada às suas previsões torna-se muito alta. Esse problema é chamado pelos estatísticos de *overfit*.



Dica: uma dica para o usuário, por exemplo: O VRAnalyst possibilita acesso direto aos projetos mais recentemente utilizados através do grupo **Projetos Recentes**, na parte inferior do diálogo inicial.



Linux: uma nota específica para plataformas POSIX (Linux e Unix), por exemplo: o VRAnalyst está disponível para Linux e pode estar disponível para outras plataformas Unix se desejado.



Windows: uma nota específica para plataformas Win32 (Windows 95 e superiores, Windows NT 4 e superiores), por exemplo: o windows não diferencia letras maiúsculas de minúsculas nos nomes dos arquivos.

1 Introdução

Neste capítulo, o *software* VRAnalyst e suas principais características serão apresentadas. No final do capítulo, podem ser encontradas as instruções para a instalação do VRAnalyst.

Sumário

1.1 Estatística na Indústria	2
1.2 O que é o VRAnalyst	2
1.3 Aplicações	3
1.4 Instalação	3
1.4.1 Controle de Uso	3
1.4.2 Instalando VRAnalyst	4
1.5 Resolução de Problemas de Instalação	4

1.1 Estatística na Indústria

Desenvolver a capacidade de aprender a partir de dados é um dos desafios mais relevantes da era da informação. Nesse contexto, a estatística é uma ciência que, por disponibilizar diversas ferramentas que facilita esse tipo de aprendizado, encontra aplicações nos mais diversos setores.

Na indústria, o tratamento estatístico de dados possibilita desde a simples monitoração das especificações dos produtos produzidos até a identificação das variações do processo que são responsáveis pela fabricação de não-conformes. Através do tratamento estatístico de dados históricos, também é possível construir simuladores capazes de prever o comportamento do processo. Esses simuladores proporcionam maior agilidade no desenvolvimento de novos produtos e permitem otimizar a produção de modo a fabricar produtos já existentes de forma mais eficiente.

1.2 O que é o VRAnalyst

CEP é a sigla para Controle Estatístico de Processos.

O VRAnalyst é um completo pacote para o tratamento estatístico de dados provenientes de processos industriais que possui ferramentas para CEP e também para a geração de simuladores que permitem a predição de propriedades finais do produto e a determinação de condições de operação ideais.

As funcionalidades de CEP clássicas permitem que o usuário olhe para trás no tempo, analise a variabilidade do processo e identifique os fatores responsáveis pela produção de produtos fora das especificações. Já a possibilidade de construir simuladores do processo permite que o usuário olhe para frente no tempo e tome ações corretivas sobre o processo enquanto os produtos ainda estão sendo fabricados.

O VRAnalyst é composto por módulos interdependentes que rodam a partir de uma área de trabalho comum. Os seguintes módulos constituem o VRAnalyst:

- **Módulo de CEP:** Além de fornecer cartas de controle e preparar relatórios com índices de capacidade como C_p e C_{pk} para as propriedades monitoradas, é capaz de gerar cartas de controle para propriedades não medidas e identificar as principais causas de variabilidade do processo.
- **Módulo de Modelagem:** Possui um completo conjunto de ferramentas para analisar estatisticamente dados históricos do processo, aprender a relação simultânea existente entre as diversas variáveis e gerar simuladores capazes de

Os índices de capacidade são indicadores que avaliam se o processo é capaz de produzir os produtos dentro das especificações.

predizer o valor de propriedades finais do produto e identificar condições ótimas de operação.

- **Módulo de Simulação:** Permite que o valor de variáveis de interesse seja inferido a partir dos valores de outras variáveis do processo. Por exemplo, as propriedades que especificam um produto poderiam ser preditas a partir da informação de variáveis manipuladas na produção. Possibilita também o cálculo reverso, ou seja, o usuário informa o valor desejado para a propriedade de especificação do produto e o software sugere a melhor composição das variáveis manipuladas na produção para proporcionar essa propriedade.

1.3 Aplicações

O VRAnalyst é capaz de proporcionar soluções de simulação, otimização e controle estatístico de processos para indústrias de diferentes portes e categorias:

- indústrias químicas em geral
- indústrias petroquímicas de 1ª, 2ª e 3ª geração
- indústrias de artefatos de borracha
- indústria de tintas e solventes
- indústrias de alimentos
- indústria fumageira

1.4 Instalação

1.4.1 Controle de Uso

USB é a sigla para Universal Serial Bus.

Os produtos da VRTech são distribuídos com um sistema de controle de uso via chave eletrônica USB. Estão disponíveis dois tipos de chave:

- **vermelha:** para instalações em ambientes de rede
- **azul:** para computadores pessoais (ideal para portáteis)

Para o uso em rede é necessária apenas **uma** chave vermelha conectada a um computador da rede, esta máquina será o **servidor** de licenças.



Atenção: Antes de desconectar a chave vermelha da máquina servidor de licenças o serviço deve ser parado. Caso contrário

os dados gravados na chave eletrônica podem ser corrompidos inutilizando a chave.

O servidor permitirá o uso concorrente do software, através da rede, para outras máquinas - os **clientes**.



Nota: O sistema de controle de uso em rede funciona em redes heterogêneas, ou seja, o servidor pode estar rodando Linux e os clientes Windows e vice-versa.

1.4.2 Instalando VRAnalyst

O VRAnalyst é compatível com Windows 95, 98, Me e XP, além de NT 4, 2000 e 2003. Para instalar o VRAnalyst basta executar o programa de instalação

```
vranalyst-win32-<VERSION>.exe
```

e seguir os passos na tela.

O pacote de instalação também pode ser obtido na página da VRTech através do endereço www.vrtech.com.br.



Atenção: Na máquina onde será conectada a chave vermelha selecione a opção **Instalação para Servidor de Licenças**, para as demais máquinas da rede ou para a utilização da chave azul selecione a opção padrão.

Outra opção de instalação é instalar o software em um diretório comum à rede o qual poderá ser acessado diretamente por todas as outras máquinas sem a necessidade da instalação nas máquinas clientes.

1.5 Resolução de Problemas de Instalação

Nesta seção serão apresentados algumas dicas para solucionar possíveis problemas de instalação do VRAnalyst relativos à chave de controle em ambientes de rede. Se alguns cuidados forem tomados estes problemas podem ser evitados ou até mesmo resolvidos. Caso algum problema persista entre em contato com a VRTech pelo mail suporte@vrtech.com.br.

Siga as seguintes instruções na ordem que são apresentadas:

- Assegure-se de que a rede onde o VRAnalyst será instalado está ok
- Verifique se o programa NrSrv está rodando na máquina servidor e o seguinte ícone pode ser visualizado na mesma



Figura 1.1: Ícone NrSrv.

- Verifique se a chave de controle pode ser acessada da própria máquina servidor. Isto pode ser feito rodando o VRA-nalyst
- Certifique-se de que o servidor de licenças pode ser visto pelas máquinas clientes rodando o comando *ping*. Para maiores dúvidas consulte seu gerente de rede.
- Tente rodar o programa NrMon (que acompanha o VRA-nalyst) a partir da máquina cliente e veja se o servidor aparece conforme a [Figura 1.2](#)

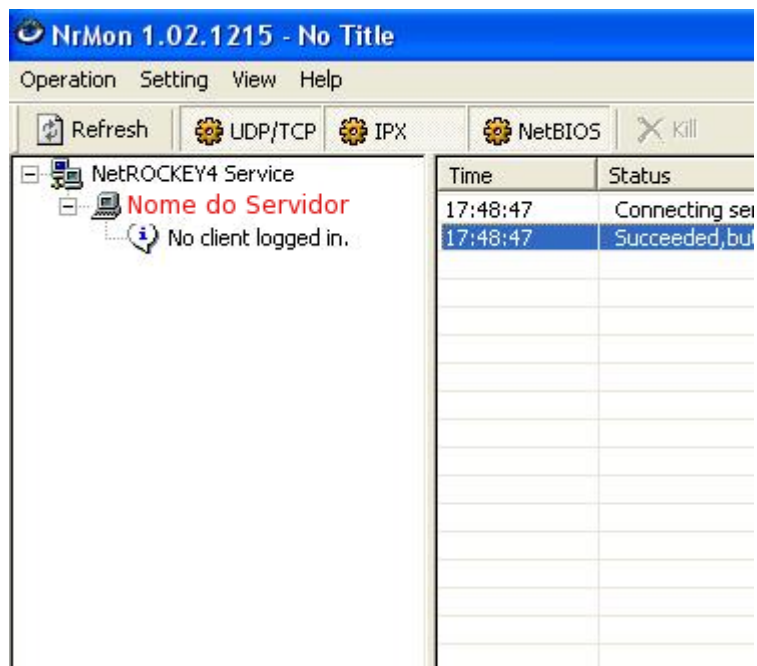


Figura 1.2: Programa NrMon.

- Verifique se há algum firewall habilitado. Certifique-se de que a porta 3152 está liberada.
- Verifique com o responsável pela rede se a máquina cliente e servidor fazem parte da mesma sub-rede (uma vez que o cliente faz um *broadcast* para encontrar o servidor). Se as máquinas não fazem parte da mesma sub-rede, é necessário alterar o arquivo `Clicfg.ini` na máquina **cliente**:

- Altere a linha `SearchFlag=0` para `SearchFlag=1`
- Altere a linha `SearchList=10.10.10.1` indicando o IP da máquina servidor

2 Estatística Industrial

Neste capítulo, os princípios teóricos necessários para a compreensão e melhor utilização das funcionalidades do *software* VRAnalyst são apresentados.

Sumário

2.1	Conceitos Básicos	8
2.1.1	Estatística	8
2.1.2	Variabilidade	8
2.1.3	População e Amostra	8
2.1.4	Experimentos	9
2.1.5	Variáveis	9
2.1.6	Funções	10
2.1.7	Parâmetros	10
2.2	Controle Estatístico de Processo	10
2.2.1	Introdução	11
2.2.2	Variabilidade	11
2.2.3	Cartas de Controle	12
2.2.4	Índices de Capabilidade	17
2.3	Modelagem Estatística de Processos	18
2.3.1	Motivação	18
2.3.2	Regressão Multivariável	19
2.3.3	Tópicos Avançados	24

2.1 Conceitos Básicos

Esta primeira seção apresenta definições matemáticas e conceitos estatísticos básicos para introduzir o profissional da indústria ao contexto do tratamento estatístico de dados. Usuários que já tenham experiência prévia no assunto podem pular este trecho sem maiores problemas. Para principiantes, a leitura desta seção é fortemente recomendada.

2.1.1 Estatística

A estatística pode ser definida como a ciência da aprendizagem a partir de dados. Ela compreende um conjunto de métodos científicos para adquirir, organizar, processar e apresentar dados de modo a constituir uma base consistente para a tomada de decisões.

2.1.2 Variabilidade

Em um processo onde se tem um reator químico operado em bateladas, o tempo de mistura, a temperatura e a pressão de reação poderiam, por exemplo, ser consideradas como variáveis de operação.

Os processos produtivos industriais dependem de diversas variáveis de operação que devem ser mantidos em certos níveis sempre que um determinado produto está sendo produzido. Na prática, diversas fontes de variabilidade atuam sobre o processo produtivo, fazendo com que as variáveis de operação nunca possam ser mantidas exatamente nos níveis desejados. Conseqüentemente, os produtos resultantes de processos de manufatura sempre apresentarão variabilidade. Essa variabilidade interfere no processo de produção, podendo conduzir a produtos defeituosos, ou seja, produtos que não satisfazem às especificações.

A identificação e eliminação das fontes de variabilidade tornam o processo capaz de produzir produtos com características mais próximas das especificações, reduzindo os prejuízos causados pela produção de itens defeituosos.

2.1.3 População e Amostra

Os dados são a base para a tomada de decisões durante a análise de um problema. As noções de população e amostra são muito importantes para introduzir as técnicas de coleta de dados para o tratamento estatístico.

O conceito de população se refere ao conjunto de unidades individuais que possuem em comum uma ou mais características a serem estudadas. Por exemplo, em um processo de manufatura de peças de borracha, uma população de interesse pode ser constituída por todas as peças de todos os lotes de um determinado produto produzido pela fábrica.

Naturalmente, devido a restrições de tempo e recursos, é quase sempre impraticável determinar o valor das características de interesse para todos os integrantes da população. Portanto, ao invés de analisar toda a população, normalmente é analisada apenas uma pequena parcela, denominada de amostra. Se a amostra analisada for representativa da população em questão, os resultados obtidos podem ser utilizados para inferir conclusões a respeito da população como um todo. Entretanto, para que as inferências sejam válidas e suficientemente precisas, é importante que seja feita uma boa amostragem. A escolha não tendenciosa das unidades que constituem a amostra e o dimensionamento do tamanho de uma amostra que seja suficiente para lidar com a variação aleatória presente no processo são fatores críticos para assegurar uma boa amostragem. É importante que o processo de amostragem esteja bem documentado para que as inferências retiradas a respeito da população possam ser avaliadas considerando a estratégia amostral utilizada.

2.1.4 Experimentos

No jargão estatístico, a palavra experimento se refere à coleta de dados. A coleta de dados pode se basear no histórico do processo ou em experimentos planejados. Dados históricos são aqueles que já estão disponíveis na empresa e podem ser obtidos sem interferir no processo. Um experimento planejado envolve mudanças propositalmente no processo para avaliar as alterações sofridas pelo produto.

2.1.5 Variáveis

Normalmente, os dados coletados na indústria são medidas de parâmetros do processo de produção ou de propriedades do produto final. Como essas medidas podem assumir diferentes valores, elas são chamadas de variáveis. Essas variáveis podem ser contínuas ou discretas. Variáveis contínuas podem assumir qualquer valor dentro determinados limites e são usadas para quantificação. Por exemplo, a temperatura de um reator ou o diâmetro de uma peça são variáveis contínuas. Variáveis discretas só podem assumir valores previamente estabelecidos. Como exemplo de variável discreta pode ser citado o número de peças defeituosas em um lote de 100 unidades. Variáveis discretas são frequentemente usadas para assinalar a presença de atributos. Por exemplo, a ausência ou a presença de defeitos em um determinado produto pode ser assinalada como, respectivamente 0 ou 1.

2.1.6 Funções

Quando uma variável do processo, denominada Y , depende diretamente do valor de outra variável, denominada X , diz-se que Y é uma função de X . A notação que representa tal dependência é dada por:

$$Y = f(X) \quad (2.1)$$

No caso mais geral, onde o valor da variável Y depende não apenas de uma variável X mas de outras k variáveis X_1, X_2, \dots, X_k , a notação fica:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k) \quad (2.2)$$

Por exemplo, a viscosidade v de uma resina produzida em um processo químico pode ser descrita como uma função da temperatura T e da pressão P na qual o reator é operado e também do tempo de batelada t_{bat} . Neste caso, a notação fica:

$$v = f(T, P, t_{bat}) \quad (2.3)$$

2.1.7 Parâmetros

Na [Equação 2.3](#), a relação existente entre a viscosidade da resina e as variáveis manipuladas no processo está expressa de uma forma bastante genérica. Para descrever a relação existente entre essas variáveis em um caso específico, é necessário especificar o formato da função f . Pode ser assumido, por exemplo, que a relação é linear. Neste caso, a equação deveria ser escrita como:

$$v = A.T + B.P + C.t_{bat} \quad (2.4)$$

As constantes A , B e C que aparecem na [Equação 2.4](#) são chamados de parâmetros. Os valores dos parâmetros são, normalmente, estimados a partir de dados do processo em estudo, como será demonstrado na [Seção 2.3](#)

2.2 Controle Estatístico de Processo

O Controle Estatístico de Processo, ou CEP como é usualmente chamado, é uma ferramenta clássica na área de qualidade e, com certeza, uma das mais empregadas e comprovadas no meio industrial. Desde seu surgimento, o CEP tem sido aplicado nos

mais diversos processos, situações e regiões em todo o mundo. Há também um grande conhecimento acumulado sobre sua aplicação, principais benefícios e restrições. O CEP baseia-se no fato de que o desempenho de um processo depende não só da maneira como ele foi projetado e construído, mas também da maneira como ele é **operado**.

2.2.1 Introdução

O Controle Estatístico de Processo engloba um conjunto de técnicas e ferramentas para monitorar e aprimorar processos produtivos através da identificação das diferentes fontes de variabilidade que atuam sobre os mesmos. O sistema de CEP requer a coleta de dados do processo de produção para que a situação do mesmo possa ser monitorada e também para que se possa realizar análises e propor melhorias visando, sempre, o alcance de patamares de desempenho superior.

2.2.2 Variabilidade

A variabilidade está sempre presente, uma vez que duas unidades produzidas pelo mesmo processo jamais serão idênticas. As fontes de variabilidade que atuam sobre um processo, são divididas em *causas comuns* e *causas especiais*.

No VRAnalyst a distribuição normal é utilizada para descrever a variação das causas comuns.

As causas comuns são as diversas pequenas fontes de variação que atuam de forma essencialmente **aleatória**. Quando tem-se apenas causas comuns, embora as unidades produzidas sejam diferentes, em conjunto elas formam um padrão que pode ser descrito por uma distribuição.

Diz-se que o processo está sob controle estatístico quando apenas causas comuns atuam sobre a produção e diz-se que o processo está fora de controle estatístico quando há causas especiais presentes.

As causas especiais usualmente geram efeitos maiores e não seguem um padrão aleatório. A presença de causas especiais afetam significativamente o desempenho do processo e devem ser *identificadas* e neutralizadas. A identificação das causas especiais é feita com base em conceitos de estatística que permitem a separação dos efeitos gerados por causas comuns dos efeitos provenientes de causas especiais. Com o CEP é possível identificar a ocorrência de causas especiais, as quais devem ser eliminadas imediatamente.

A eliminação de causas especiais sempre proporciona uma melhoria no processo produtivo, que se reflete na qualidade dos produtos. A correção de uma fonte de causas especiais é feita por uma ação local e isolada, justificando-se economicamente. A eliminação de causas comuns necessita de uma ação global sobre o sistema além de gerar ganhos pequenos. Neste caso, é necessária uma análise a nível gerencial para verificar se a eliminação das causas comuns se justifica economicamente.

2.2.3 Cartas de Controle

As cartas de controle foram desenvolvidas em 1920 e são amplamente utilizadas em países como EUA e Japão.

As principais ferramentas de CEP são as chamadas cartas de controle. As cartas de controle permitem acompanhar a variabilidade de uma propriedade do produto ao longo do tempo e identificar imediatamente a presença de causas especiais. A detecção de uma causa especial permite que ações corretivas possam ser iniciadas.

No VRAnalyst estão presentes duas categorias de cartas de controle:

- Para Variáveis : utilizadas para o tratamento de variáveis mensuráveis, exemplos são: o diâmetro de um parafuso, a espessura de um filme e a cobertura de uma tinta.
- Para Atributos : utilizadas para o tratamento de variáveis discretas, exemplos são: o número de riscos após o polimento e o número de bolhas em uma peça.

Cartas de Controle para Variáveis

No VRAnalyst estão presentes duas cartas de controle para variáveis:

\bar{X} : a carta das médias

R : a carta das amplitudes

Nas cartas para variáveis, os dados devem ser coletados em pequenos subgrupos de tamanho constante. As unidades presentes em cada subgrupo são chamadas de *réplicas*. As réplicas devem ser produzidas em condições semelhantes para que a variabilidade entre elas seja devido essencialmente a causas comuns. Para que isto aconteça, usualmente são tomadas como réplicas de 3 a 6 peças consecutivas ou de um mesmo lote. A coleta dos subgrupos deve ser executada de forma periódica, por exemplo, 1 subgrupo a cada 15 minutos ou 2 subgrupos por lote. Na verdade, a frequência de amostragem entre os subgrupos deve ser tal que exista uma boa chance de modificação nos valores entre um subgrupo e o outro.

Em alguns processos não é possível obter réplicas, este é o caso quando:

- A taxa de produção é muito baixa, por exemplo, 1 produto por dia
- Os testes são muito caros, destrutivos ou exigem a parada da produção

- Não há variação para longos períodos ou as características são muito homogêneas, por exemplo, no processo de um digestor químico

Nestes casos as cartas \bar{X} e R ainda podem ser construídas utilizando valores de medidas individuais (sem réplicas). Entretanto, quando são utilizados valores individuais, as cartas não são tão sensíveis e os resultados devem ser analisados com mais cuidado.

Os retentores têm a função principal de reter óleos, graxas e outros tipos de fluídos, que devem ser contidos no interior de uma máquina.

Para apresentar o procedimento de construção de cartas de controle para variáveis, será considerado o conjunto de dados da **Tabela 2.1**. Estes dados representam a fresta resultante do procedimento de dobra superior de retentores utilizados na indústria automobilística. Para este caso, foram utilizadas 5 réplicas para cada subgrupo, amostrados de hora em hora. Para cada peça a fresta resultante da dobra foi medida utilizando-se um paquímetro. Cada linha da **Tabela 2.1** representa um subgrupo, onde as colunas são as medidas das réplicas.

Tabela 2.1: Fresta do retentor em $mm \times 100$.

Subgrupo	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Réplica 4	Réplica 5
1	65	70	75	60	80
2	75	70	80	90	70
3	80	70	70	80	80
4	65	65	65	80	65
5	80	60	80	80	75
6	75	70	60	85	75
7	80	75	65	75	70
8	70	65	75	65	85
9	85	85	75	65	80
10	65	65	65	80	60
11	75	60	75	85	90
12	85	65	75	75	80
13	70	75	75	70	70
14	70	65	85	60	75
15	75	80	85	80	90

A média é obtida pela soma de todas as réplicas dividido pelo número de réplicas, no caso 5.

A carta das médias \bar{X} se baseia nas médias aritméticas das réplicas. Neste exemplo é a média das 5 medidas de cada um dos 15 subgrupos amostrados. Uma vez obtido o valor para todas as médias, uma carta como apresentado na **Figura 2.1** pode ser constituída.

No eixo horizontal (eixo dos X) são identificados os subgrupos e as médias das medidas de cada subgrupo são marcadas no eixo

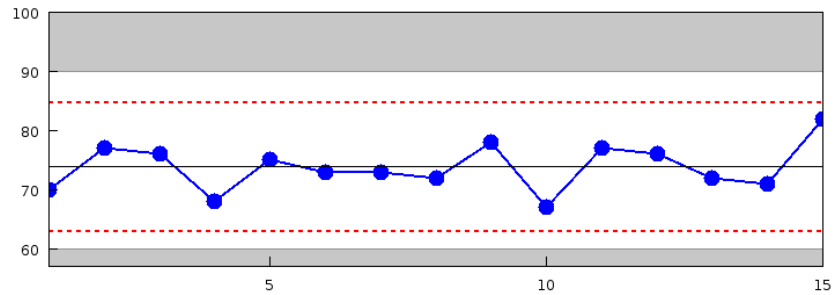


Figura 2.1: Carta de controle das médias \bar{X} para a fresta de retentores.

vertical (eixo dos Y). São traçadas ainda três retas horizontais: uma em traço cheio no centro do gráfico que representa o valor da média das médias e duas retas tracejadas. As retas tracejadas indicam os **limites de controle** superior e inferior (LCS e LCI, respectivamente). Estes limites são tais que a probabilidade de um ponto, não afetado por causas especiais, ficar fora dos limites é menor que 1%. As regiões cinza representam os **limites de especificação** (LES - limite de especificação superior e LEI - limite de especificação inferior), assim sendo, se um ponto ficar em uma das regiões cinza significa que unidades fora de especificação foram produzidas.

A amplitude é dada pela diferença entre o maior e o menor valor das réplicas em um dado subgrupo.

A carta para as amplitudes R se baseia nas amplitudes das réplicas. Então, de forma muito similar à carta das médias, calculando-se a amplitude para cada um dos subgrupos é possível construir uma carta como apresentado na [Figura 2.2](#). Nesta figura, o eixo vertical (eixo dos Y) representa o valor das amplitudes para cada subgrupo.

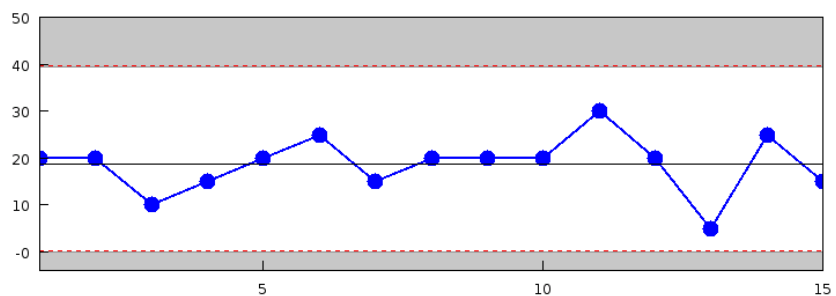


Figura 2.2: Carta de controle para as amplitudes.

Os limites de controle para a carta das médias \bar{X} e amplitudes R são calculados através das seguintes fórmulas:

$$LCS_X = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \quad (2.5)$$

$$LCI_X = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} \quad (2.6)$$

$$LCS_R = D_4\bar{R} \quad (2.7)$$

$$LCI_R = D_3\bar{R} \quad (2.8)$$

Onde, $\bar{\bar{X}}$ e \bar{R} são a média das médias e a média das amplitudes, respectivamente. Embora as equações para o cálculo dos limites de controle sejam simples, a determinação destes valores é um procedimento iterativo, uma vez que valores afetados por causas especiais não podem ser considerados nos cálculos. As constantes A_2 , D_3 , e D_4 dependem do número de réplicas dos subgrupos. Os valores destas constantes para subgrupos com até 10 réplicas é apresentado na [Tabela 2.2](#).

Tabela 2.2: Coeficientes para o cálculo dos limites de controle.

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_4	3.27	2.57	2.28	2.11	2.00	1.92	1.86	1.82	1.78
D_3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.14	0.18	0.22
A_2	1.88	1.02	0.73	0.58	0.48	0.42	0.37	0.34	0.31
d_2	1.13	1.69	2.06	2.33	2.53	2.70	2.85	2.97	3.08

Carta de Controle para Atributos

Muitas propriedades resultantes de um processo produtivo são classificadas somente com atributos e não podem ser mensuradas com valores contínuos. Este é o caso, por exemplo, do número de riscos em uma determinada peça ou o número de embalagens com defeito ou amassadas em um determinado lote.

O VRAnalyst apresenta apenas uma carta para atributos, chamada de número de defeitos c , que pode ser utilizada para monitorar os seguintes casos:

- A porcentagem de defeituosos em uma dada amostra
- O número de unidades defeituosas em uma dada amostra
- O número de defeitos em uma peça

Na carta para atributos c não existe o conceito de *réplicas* nas amostras. Por exemplo, se é desejado monitorar o número de unidades defeituosas:

- Defini-se o tamanho da amostra, por exemplo, o lote inteiro
- Todas as unidades da amostra são analisadas e o número de defeitos somado

- A soma corresponde ao valor da amostra

Para exemplificar o uso de cartas de atributos vamos considerar o exemplo de uma fábrica de bebidas onde deseja-se monitorar o número de latas amassadas (defeituosas). Para isto foram consideradas amostras de 500 latas para cada lote produzido. Os defeitos nas amostras foram contados gerando os dados presentes na [Tabela 2.3](#).

Tabela 2.3: Número de latas amassadas (defeituosas) em amostras de 500 latas.

Amostra	Defeitos
1	12
2	15
3	8
4	10
5	4
6	7
7	16
8	9
9	14
10	10
11	5
12	6
13	17
14	12
15	22
16	8
17	10
18	5
19	13
20	11

Com estes dados é possível construir uma carta como apresentado na [Figura 2.3](#).

De forma similar às cartas das médias \bar{R} , o eixo horizontal (eixo dos X) representa as amostras e o eixo vertical (eixo dos Y) representa os valores. No centro do gráfico, é apresentada uma reta representando a média de todas as amostras. As retas tracejadas indicam os **limites de controle** superior e inferior (LCS e LCI, respectivamente). Estes limites são tais que a probabilidade de um ponto, não afetado por causas especiais, ficar fora dos limites é menor que 1%. As regiões cinza representam os **limites de especificação** (LES - limite de especificação superior e LEI - limite de especificação inferior), assim sendo, se um ponto ficar em

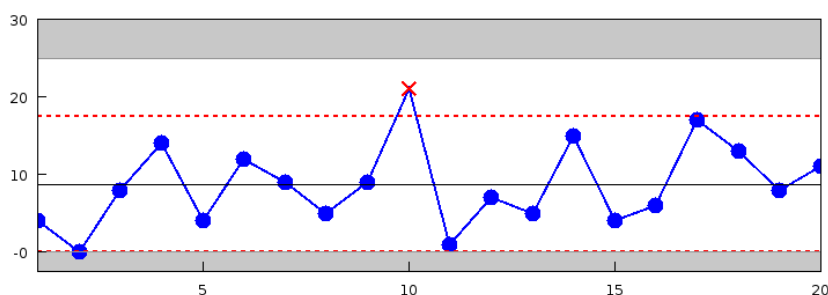


Figura 2.3: Carta de controle para a número de defeitos.

uma das regiões cinza significa que unidades fora de especificação foram produzidas.

Como pode ser visto na [Figura 2.3](#), a amostra 15 está fora dos limites de controle indicando que há uma causa especial agindo sobre a mesma. Uma vez identificada uma causa especial uma ação para que esta não se repita deve ser tomada imediatamente.

Os limites de controle para a carta de número de defeitos c são calculados de acordo com as seguintes fórmulas:

$$LCS_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \quad (2.9)$$

$$LCI_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad (2.10)$$

Onde, \bar{c} é a média dos valores das amostras. Embora as equações para o cálculo dos limites de controle sejam simples, a determinação destes valores é um procedimento iterativo, uma vez que valores afetados por causas especiais não podem ser considerados nos cálculos.

2.2.4 Índices de Capabilidade

Os índices que medem a capacidade de um dado processo fabricar produtos dentro da faixa de especificação surgiram na década de 20, juntamente com as cartas de controle.

Além de identificar as causas especiais as cartas de controle podem ser utilizadas para verificar se o processo é capaz de produzir os produtos dentro das especificações pré-estabelecidas. Quando, mesmo eliminando todas as causas especiais de variabilidade, o processo não for capaz de produzir produtos dentro das especificações, será preciso agir sobre as causas comuns, o que é muito mais custoso em termos de tempo e recursos.

Os índices de capacidade podem ser obtidos diretamente dos dados registrados nas cartas de controle. Estes índices medem, para um processo sob controle estatístico, a razão entre as especificações do produto e o que o processo é capaz de produzir. Se a variabilidade do processo devido apenas às causas comuns é muito

grande, ultrapassando os limites de especificação, o processo é definido como não capaz. Neste caso, mudanças significativas no processo ou mesmo a adoção de processos alternativos podem ser necessárias para tornar o processo capaz de produzir dentro das especificações desejadas.

No VRAnalyst dois tipos de capacidade são utilizados:

- Capacidade Potencial $C_p = \frac{LES-LEI}{6\sigma}$
- Capacidade Atual $C_{pk} = \text{menor valor entre } \frac{LES-\bar{x}}{3\sigma} \text{ e } \frac{\bar{x}-LEI}{3\sigma}$

Capacidade Potencial C_p

Em um processo centrado, a média dos valores \bar{x} é igual à média dos limites de especificação.

A Capacidade Potencial C_p indica a capacidade que o processo pode atingir se estiver *centrado*. Um processo é dito potencialmente capaz se $C_p > 1$, no caso contrário existem causas comuns que não permitem produzir dentro da faixa de especificação. De qualquer forma a capacidade pontencial não deve ser analisada isoladamente, mas acompanhada da capacidade atual.

Capacidade Atual C_{pk}

A capacidade atual mede diretamente a qualidade do processo produtivo. Um $C_{pk} > 1$ significa que a fração de unidades fora dos limites de especificação será menor que 1%. Usualmente, um processo é dito capaz se $C_{pk} > 1$, porém empresas com um padrão de qualidade elevado utilizam a meta de $C_{pk} > 1.33$.

Para o caso de um C_{pk} baixo mas com $C_p > 1$, bastaria centrar o processo para torná-lo atualmente capaz. Entretanto, se ambos os índices apresentam valores baixos, ações para remover causas comuns serão necessárias.

2.3 Modelagem Estatística de Processos

A modelagem estatística compreende um conjunto de técnicas que possibilitam a construção de modelos matemáticos de um processo de produção. Um modelo matemático é constituído por uma ou mais equações que representam o comportamento do processo.

2.3.1 Motivação

Os processos industriais são caracterizados por uma diversidade de variáveis que devem ser especificadas de modo a determinar as propriedades finais dos diferentes produtos. Infelizmente, as

relações existentes entre as variáveis de processo e as propriedades do produto final nem sempre são exatamente conhecidas. Na prática, geralmente, são conhecidas as "receitas", ou seja, as especificações do processo que conduzem aos diferentes produtos. O desenvolvimento de novos produtos é realizado através de testes, onde as especificações do processo são variadas até se atingir as propriedades finais desejadas.

Embora estes testes sejam orientados por profissionais que conhecem profundamente o produto e o seu processo de produção, é natural que surjam divergências quando uma equipe planeja uma série de testes visando o desenvolvimento de um produto. Essas divergências aumentam significativamente a probabilidade de ocorrência de testes mal sucedidos que, além de acarretarem prejuízos financeiros para a empresa, aumentam o tempo necessário para o desenvolvimento do produto.

Modelos matemáticos que sejam capazes de descrever quantitativamente o processo de produção, além de serem muito úteis para aplicações importantes como controle avançado e otimização, são uma ferramenta poderosa para profissionais que orientam a execução de testes para o desenvolvimento de novos produtos, permitindo que muitas dúvidas sejam esclarecidas ainda na fase de planejamento.

2.3.2 Regressão Multivariável

A análise de regressão é a base para o desenvolvimento de modelos matemáticos de um processo a partir de dados experimentais. Através dessa ferramenta, é possível estimar valores para os parâmetros dos modelos e comparar a capacidade de diferentes formatos de funções em prever o comportamento do processo em estudo. Quando uma análise de regressão é conduzida, as variáveis estudadas são divididas em variáveis de entrada e variáveis de saída. Em se tratando da análise de processos industriais, normalmente, as variáveis de saída são propriedades finais do produto e as variáveis de entrada são variáveis manipuladas na produção.

A **Figura 2.4** ilustra um problema onde quatro variáveis do processo X_1 , X_2 , X_3 e X_4 são utilizadas para explicar a variabilidade de uma propriedade do produto Y :

Cada uma das variáveis do processo é capaz de explicar uma fração diferente da variabilidade da propriedade do produto Y . A modelagem estatística desse problema consiste na construção de uma função, também chamada de modelo matemático, que seja capaz de explicar a maior parcela possível da relação existente entre a variabilidade das variáveis de entrada e a variabilidade da

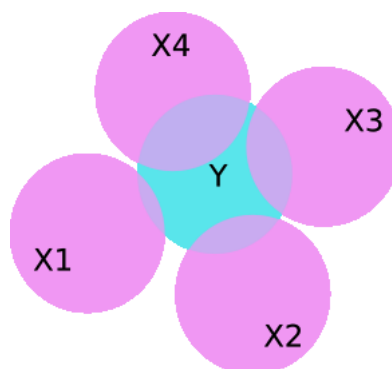


Figura 2.4: Problema de regressão multivariável.

variável de saída. O procedimento de modelagem é constituído por duas etapas básicas:

- Estruturação do Modelo
- Estimação dos Parâmetros

Estruturação do Modelo

O primeiro passo para a construção de um modelo é a determinação da sua estrutura, ou seja, da forma funcional que será utilizada para expressar a relação entre as variáveis estudadas. Em se tratando da análise de dados de processos industriais, o tipo de relação existente entre os dados pode ser bastante variado. Por esse motivo, é comum trabalhar com diferentes tipos de modelos. Os tipos mais comuns são:

- Linear: A opção mais simples é assumir que a relação existente entre as entradas e as saídas pode ser adequadamente descrita por uma função linear.
- Quadrático: Inserindo termos de segundo grau no modelo, permite considerar desvios da linearidade e a existência de interações entre as variáveis de entrada.
- Cúbico: Também considera termos de terceira ordem. Em muitos casos, as interações entre os termos de segunda ordem com os termos de primeira ordem são desprezadas.
- Box-Tidwell¹: É uma alternativa que proporciona maior flexibilidade, pois permite trabalhar com expoentes variáveis, aumentando a capacidade de ajuste do modelo.

¹ G.E.P. Box & P.W. Tidwell, *Transformation of the independent variables*, TECHNOMETRICS., Vol. 4, N° 4, 531-550, 1962.

As equações 2.11, 2.12, 2.13 e 2.14 mostram, respectivamente, as expressões generalizadas para os modelos do tipo linear, quadrático, cúbico e Box-Tidwell

$$Y = B^0 + \sum_{i=1}^k B_i^1 X_i \quad (2.11)$$

$$Y = B^0 + \sum_{i=1}^k B_i^1 X_i + \sum_{i=1}^k B_i^2 X_i X_i \quad (2.12)$$

$$Y = B_0 + \sum_{i=1}^k B_i^1 X_i + \sum_{i=1}^k B_i^2 X_i X_i + \sum_{i=1}^k B_i^3 X_i X_i X_i \quad (2.13)$$

$$Y = B^0 + \sum_{i=1}^k B_i X_i^{A_i} \quad (2.14)$$



Atenção: O uso dos modelos muito flexíveis, principalmente o cúbico e o Box-Tidwell, deve ser evitado em situações onde existam poucas observações experimentais disponíveis, pois quando os mesmos são construídos com base em um número pequeno de observações a incerteza associada às suas previsões torna-se muito alta. Esse problema é chamado pelos estatísticos de *overfit*.

Estimação de Parâmetros

As técnicas de estimação permitem que os valores de parâmetros de um modelo com estrutura conhecida sejam estimados a partir de observações experimentais. Para introduzir esse conceito, será utilizado como exemplo um estudo sobre um processo químico constituído por um reator de mistura. Neste exemplo, a variável de interesse é a fração x , que denota a conversão do reagente em produto. O objetivo do estudo é a obtenção de uma função que seja capaz de retornar o valor de x a partir dos valores da temperatura de reação T , da pressão de reação P e da concentração de reagente na alimentação C_0 .

$$x = B_0 + B_1.T + B_2.P + B_3.C_0 \quad (2.15)$$

É importante notar que, embora a Equação 2.15 determine a relação existente entre as diferentes variáveis estudadas, o modelo não tem utilidade prática sem o conhecimento dos valores dos parâmetros B_0 , B_1 , B_2 e B_3 . Como os valores desses parâmetros

Tabela 2.4: Observações experimentais do processo.

Teste	$T[^\circ\text{C}]$	$P[\text{atm}]$	$C_0[\text{g/l}]$	x
1	140	3.00	3.00	0.32
2	140	3.00	6.00	0.36
3	140	4.00	3.00	0.57
4	180	3.00	3.00	0.46
5	180	4.00	3.00	0.65
6	140	4.00	6.00	0.57
7	180	3.00	6.00	0.48
8	180	4.00	6.00	0.68

Tabela 2.5: Avaliação da capacidade de ajuste do modelo para $B_0 = 0.00$, $B_1 = 0.03$, $B_2 = 0.40$ e $B_3 = 0.10$

Teste	x_{medida}	x_{modelo}	Resíduo	Resíduo ²
1	0.320	5.70	5.38	28.94
2	0.360	6.00	5.64	31.81
3	0.570	6.10	5.53	30.58
4	0.460	6.90	6.44	41.47
5	0.650	7.30	6.65	44.22
6	0.570	6.40	5.83	33.99
7	0.480	7.20	6.72	45.16
8	0.680	7.60	6.92	47.89
			SOMA	304.06

Nesse caso, as condições do processo são determinadas pelos diferentes trios T , P e C_0 .

são desconhecidos, os mesmos devem ser determinados a partir de observações experimentais do processo em questão. Na [Tabela 2.4](#), são apresentados os resultados de oito testes realizados no processo. Em cada um dos testes, uma condição de processo diferente foi avaliada e os respectivos valores da conversão foram medidos.

No caso geral, as estimativas ideais para os parâmetros do modelo são obtidas através de um procedimento repetitivo de tentativas sucessivas. Para o exemplo em questão, tal procedimento pode ser baseado na análise da [Tabela 2.5](#), onde o valor da conversão medida é comparado com o valor da conversão predita pelo modelo se o valor dos parâmetros forem arbitrados como sendo $B_0 = 0.00$, $B_1 = 0.03$, $B_2 = 0.40$ e $BA_3 = 0.10$.

A última coluna da [Tabela 2.5](#) apresenta o quadrado da diferença entre as predições do modelo e os valores medidos para a conversão. Também é apresentada a soma do valor absoluto dessas diferenças quadráticas, que é um indicativo da qualidade do modelo. Quanto menor for o valor dessa soma, mais exatas são as

Em 1809, Carl Friedrich Gauss (1777-1855) publicou um artigo demonstrando que a melhor maneira de determinar um parâmetro desconhecido de uma equação é minimizar a soma dos quadrados dos resíduos, mais tarde esse método foi chamado de Mínimos Quadrados por Adrien-Marie Legendre (1752-1833).

Tabela 2.6: Avaliação da capacidade de ajuste do modelo para $B_0 = 0.0028125$, $B_1 = 0.2125$, $B_2 = 0.0075$ e $B_3 = -0.71625$

Teste	x_{medida}	x_{modelo}	Resíduo	Resíduo ²
1	0.320	0.338	0.01750	0.000306
2	0.360	0.360	0.00000	0.000000
3	0.570	0.550	-0.02000	0.000400
4	0.460	0.450	-0.01000	0.000100
5	0.650	0.663	0.01250	0.000156
6	0.570	0.573	0.00250	0.000006
7	0.480	0.473	-0.00750	0.000056
8	0.680	0.685	0.00500	0.000025
			SOMA	0.00105

predições do modelo.

É natural que, para a primeira tentativa, as predições do modelo para a conversão do produto sejam muito ruins, uma vez que esses valores arbitrados estão muito longe dos valores ideais. Então, para encontrar a estimativa ideal dos parâmetros, os valores dos mesmos são variados arbitrariamente até que se se encontre um valor mínimo para a soma das diferenças entre as predições e os valores observados experimentalmente. Esta é uma tarefa extremamente tediosa de ser executada manualmente, mas relativamente simples de ser executada com um auxílio de um computador equipado com software adequado. A **Tabela 2.6** apresenta a comparação entre as predições do modelo e as medidas experimentais da conversão considerando os valores ideais dos parâmetros, ou seja, os valores dos parâmetros que proporcionam o menor valor para a soma de quadrados dos resíduos.

Existem diferentes algoritmos numéricos que, partindo de uma tentativa inicial, conduzem o procedimento de tentativas sucessivas até encontrar a solução.

Como pode ser observado, os parâmetros fornecidos pela solução apresentada, apresentam um resíduo desprezível, o que indica que o modelo é capaz de prever adequadamente a variabilidade da conversão da reação.



Nota: Se o problema de estimação de parâmetros for formulado especialmente para o caso onde os modelos são lineares, é possível se obter uma solução algébrica simples. Entretanto, como muitos problemas de interesse não podem ser adequadamente representados por modelos lineares, em um âmbito geral, a solução do problema de estimação deve ser buscada através do procedimento de tentativas sucessivas.

Interpretação dos Resultados

Existem alguns indicadores que devem ser avaliados para determinar a qualidade de um modelo. Em muitas situações, os valores desses indicadores são concorrentes e um bom modelo deve manter um compromisso entre eles.

- **Variabilidade Explicada:** O objetivo do procedimento de modelagem é explicar a toda variabilidade das variáveis de saída. Esse índice expressa o percentual da variabilidade da variável de saída em questão que pode ser explicada pelo modelo. Ele varia de 0 a 100%, **quanto mais perto de 100% melhor o modelo.**
- **Margem de Erro:** A margem de erro das predições é uma medida direta da confiabilidade do modelo. Ela quantifica o erro, para mais ou para menos, que está associado a uma predição do modelo. Por exemplo se a predição para o valor de uma variável de saída qualquer for igual a 50 e a margem de erro for igual a 2, o valor verdadeiro dessa variável estará entre 48 e 52. Obviamente, **quanto mais baixa a margem de erro das predições, mais confiável é o modelo.**
- **Erro Médio:** O erro médio é dado pela média aritmética do valor absoluto das diferenças entre as predições do modelo e as medidas experimentais do conjunto de dados utilizado para a construção do modelo. **Quanto mais baixo, melhor.**
- **Gráfico de Ajuste:** É obtido plotando-se as predições do modelo contra as observações experimentais e comparando a dispersão desses pontos com uma linha que representa a situação ideal. **Quanto menos os pontos se dispersarem ao redor da linha ideal, melhor o ajuste do modelo aos dados.** Um exemplo de gráfico de ajuste pode ser visto na [Figura 2.5](#).
- **Gráfico de Tendência:** É obtido comparando-se a linha que representa a seqüência de observações experimentais com as respectivas predições do modelo. **Quanto mais precisas as predições do modelo, mais próximas serão as duas linhas.** Um exemplo de gráfico de tendência pode ser visto na [Figura 2.6](#).

2.3.3 Tópicos Avançados

Um problema que aparece com frequência quando se constrói modelos estatísticos de processos industriais é a existência de in-

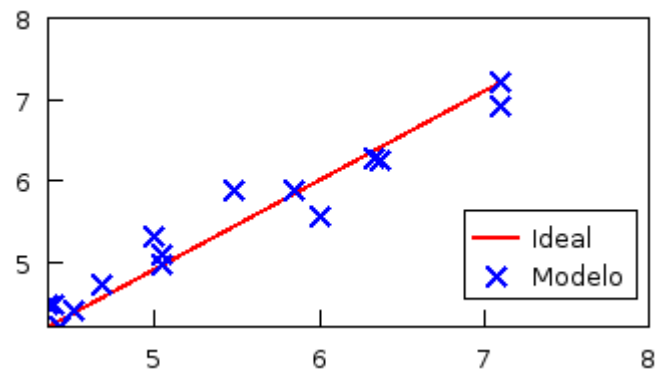


Figura 2.5: Gráfico de Ajuste.

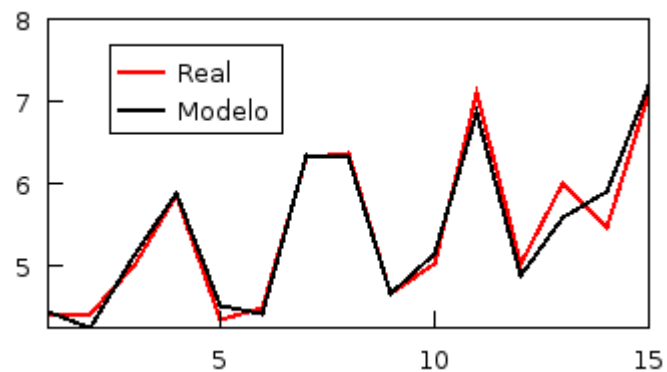


Figura 2.6: Gráfico de Tendência.

terdependência entre as variáveis de entrada. Na [Figura 2.7](#) é apresentado um processo onde quatro variáveis de entrada interdependentes X_1 , X_2 , X_3 e X_4 são utilizadas para explicar a variabilidade de uma propriedade do produto Y .

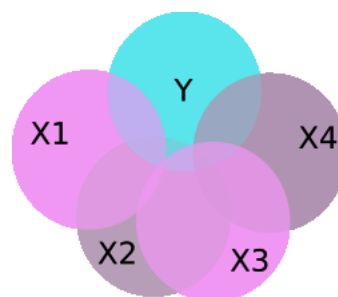


Figura 2.7: Problema da colinearidade.

Como pode ser observado, há uma considerável sobreposição entre as variáveis de entrada e também entre os efeitos que as mesmas exercem na variável de saída. Este problema, também chamado pelos estatísticos de colinearidade, dificulta e muitas ve-

zes até inviabiliza a obtenção de uma estimativa adequada para os parâmetros dos modelos.

Nas últimas décadas, algumas metodologias foram projetadas especialmente para a modelagem de dados que apresentam problemas de colinearidade entre as variáveis de entrada. Entre essas metodologias, umas das mais populares são os métodos do tipo PLS²³⁴.

PLS é a sigla para *partial least squares*.

Os métodos do tipo PLS trabalham internamente com variáveis transformadas, também chamadas de componentes do modelo. Esses componentes, que possuem a propriedade de serem independentes entre si, podem ou não ser considerados no modelo final. O número de componentes de um modelo pode variar de um até o número de variáveis de entrada consideradas. Quando novos componentes são adicionados a um modelo, a capacidade do modelo de descrever a variabilidade observada nos dados experimentais disponíveis tende a aumentar, mas, ao mesmo tempo, a capacidade do modelo de descrever a variabilidade observada em outras amostras tende a diminuir. A escolha do número de componentes a serem considerados em um modelo é, portanto, um compromisso entre ajuste e predição. Técnicas e critérios para a seleção correta do número de componentes considerados no modelo são bastante discutidas na literatura estatística. O oitavo capítulo do livro *Prediction Methods in Science and Technology*⁵, de Agnar Hoskuldsson, apresenta uma completa revisão a respeito deste tema.

Os estatísticos chamam de capacidade de ajuste a capacidade de descrever a variabilidade observada nos dados experimentais disponíveis e de capacidade preditiva a capacidade de descrever a variabilidade observada em outras amostras.

O software VRAnalyst disponibiliza as metodologias PLS linear e suas extensões não lineares de uma forma bastante simples e acessível. As etapas de transformação de variáveis são invisíveis para o usuário, que se preocupa apenas em indicar as variáveis de entrada e saída para que o software construa os modelos solicitados.

² S. Wold et al., *The colinearity problem in linear regression. The partial least squares (PLS) approach to generalized Inverses*, SIAM J. SCI. STAT. COMPUT., Vol. 5, N° 3, 735-743, Setembro, 1984.

³ G. Baffi et al., *Nonlinear projection to latent structures revisited: The Quadratic PLS algorithm.*, COMPUTERS & CHEMICAL ENGINEERING., 23, 395-411, 1999.

⁴ B. Li et al., *Box-Tidwell transformation based partial least squares regression.*, COMPUTERS & CHEMICAL ENGINEERING., 25, 1219-1233, 2001.

⁵ A. Hoskuldsson, *PREDICTION METHODS IN SCIENCE AND TECHNOLOGY*, Thor Publishing, 1996

3 Utilização do VRAnalyst

Neste capítulo, o ambiente de trabalho do VRAnalyst é apresentado e as funcionalidades básicas do software são descritas.

Sumário

3.1 Inicializando o VRAnalyst	28
3.2 Ambiente de Trabalho	28
3.3 Barra de Comandos	28
3.3.1 Barra de Menus	29
3.3.2 Barra de Atalhos	30
3.4 Árvore de Produtos	30
3.5 Janela de Abas	32
3.5.1 Módulo de Entrada de Dados	32
3.5.2 Módulo de CEP	34
3.5.3 Módulo de Modelagem	37
3.5.4 Módulo de Simulação	41

3.1 Inicializando o VRAnalyst

Ao iniciar o VRAnalyst, o usuário se depara com o diálogo inicial mostrado na [Figura 3.1](#). Neste diálogo, o usuário pode escolher entre criar um novo projeto ou carregar um projeto já existente.

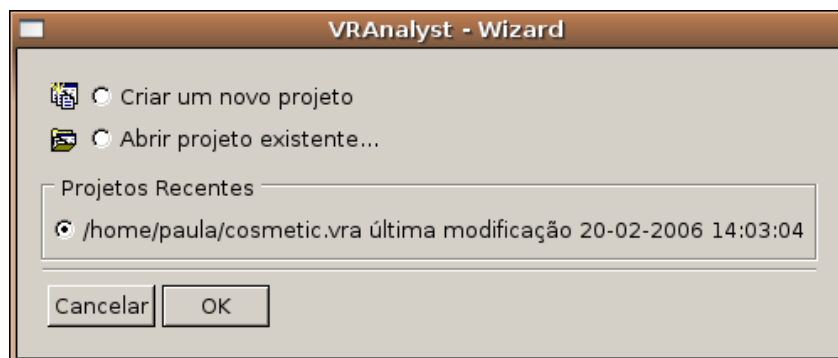


Figura 3.1: Diálogo inicial do VRAnalyst.

Os projetos do VRAnalyst são arquivos com extensão vra. Esses arquivos foram desenvolvidos para armazenar as informações a respeito de produtos e de variáveis que caracterizam um processo de produção. Uma vez carregado ou criado um projeto vra, o usuário entra no ambiente de trabalho do software.



Dica: O VRAnalyst possibilita acesso direto aos projetos mais recentemente utilizados através do grupo **Projetos Recentes**, na parte inferior do diálogo inicial.

3.2 Ambiente de Trabalho

O ambiente de trabalho do VRAnalyst, que é apresentado na [Figura 3.2](#), é composto pela barra de comandos, pela árvore de produtos e pela janela de abas.

Nas seções seguintes, as funcionalidades presentes na barra de comandos, na árvore de produtos e na janela de abas do VRAnalyst serão descritas detalhadamente.

3.3 Barra de Comandos

A barra de comandos se localiza na parte superior da tela do VRAnalyst. Ela possibilita o acesso às principais funções do software e é composta por duas barras, a barra de menus e a barra de atalhos.

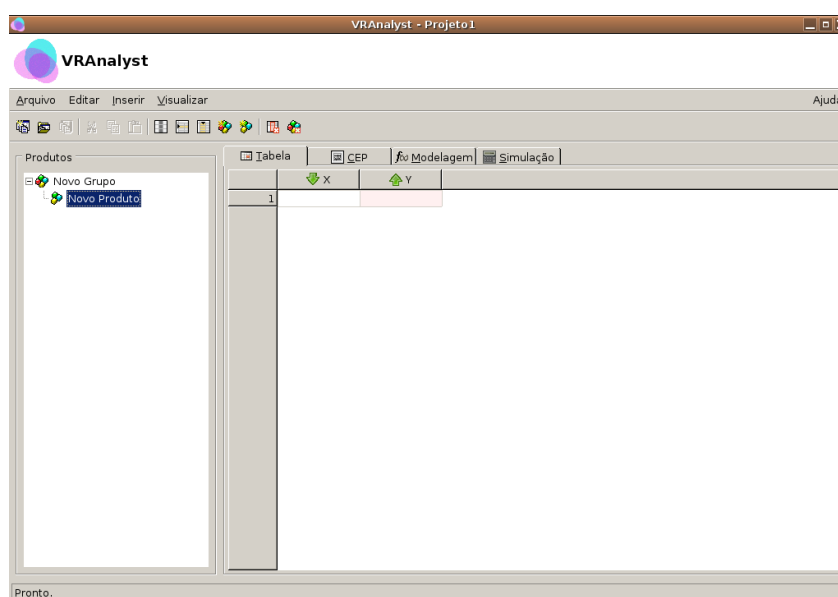


Figura 3.2: Ambiente de trabalho do VRAnalyst.

3.3.1 Barra de Menus

A barra de menus, que é mostrada na [Figura 3.3](#), se localiza na parte superior da barra de comandos. Ela é composta por cinco menus, que são identificados pelos botões **Arquivo**, **Editar**, **Inserir**, **Visualizar** e **Ajuda**.



Figura 3.3: Barra de menus do VRAnalyst.

Sempre que o usuário clicar em um desses botões, um menu de comandos aparecerá logo abaixo do mesmo. Na [Figura 3.4](#), são apresentados os comandos do menu **Arquivo**. Os comandos dos demais menus dizem respeito a funcionalidades específicas e serão explicados no decorrer do texto, a medida que as mesmas forem sendo apresentadas.

Como pode ser observado na [Figura 3.4](#), os comandos do menu **Arquivo** estão divididos em quatro grupos, separados por linhas horizontais. No primeiro e no segundo grupo, o usuário encontra os comandos **Novo**, **Abrir...**, **Salvar** e **Salvar Como...**, ou seja, os comandos básicos para criar, abrir e salvar arquivos. No terceiro grupo, o usuário encontra uma lista onde ele pode acessar diretamente os projetos mais recentemente utilizados. Para limpar a lista de projetos recentes, basta clicar no comando **Limpar Recentes**. Por fim, no quarto grupo, o usuário encontra o comando para sair do VRAnalyst.



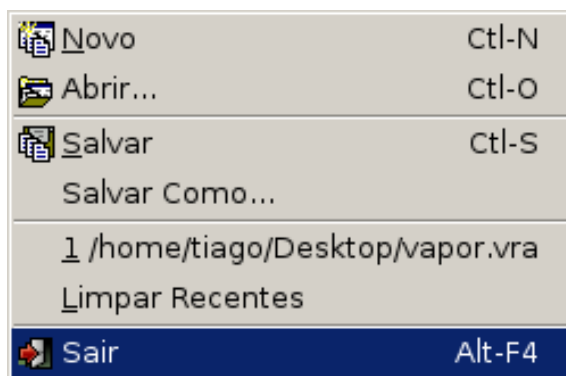


Figura 3.4: Comandos do menu **Arquivo**.

Dica: Quando houver uma tecla de atalho para a execução de um comando, a mesma é indicada ao lado do mesmo no menu. Por exemplo, para salvar o conteúdo de um projeto, basta pressionar a tecla **Ctrl** e a tecla **s** simultaneamente.

3.3.2 Barra de Atalhos

A barra de atalhos, que é mostrada na [Figura 3.5](#), se localiza logo abaixo da barra de menus e é composta por um conjunto de ícones que proporcionam acesso direto aos comandos mais comuns do VRAnalyst.



Figura 3.5: Barra de atalhos do VRAnalyst.



Dica: Passando o cursor do mouse por cima dos botões da barra de atalhos, um texto explicando a função do botão será apresentado.

3.4 Árvore de Produtos

Os arquivos vra são organizados em produtos. Os produtos contêm informações básicas a respeito das variáveis que caracterizam o processo de produção. O usuário pode criar diferentes produtos em um arquivo vra. Para proporcionar maior organização em arquivos com muitos produtos, o VRAnalyst permite a criação de grupos de produtos.

A árvore de produtos, que está localizada na parte lateral esquerda da tela, permite que o usuário crie e gerencie produtos e grupos de produtos em um arquivo vra. Clicando com o botão direito do mouse na região da árvore de produtos, o usuário terá acesso ao

Todas essas funcionalidades também podem ser acessadas através da barra de menus e da barra de atalhos.

menu apresentado na **Figura 3.6**. Neste menu, o usuário poderá criar e remover produtos e grupos de produtos no arquivo vra. Este menu também permite que o usuário renomeie ou remova produtos e grupos de produtos já existentes.



Figura 3.6: Menu de comandos da árvore de produtos.

Através desses comandos, o usuário pode criar tantos produtos e grupos de produto quanto forem necessários. Por exemplo, na situação mostrada na **Figura 3.7** foram criados onze produtos, que foram organizados em cinco grupos (A, B, C, D e E).

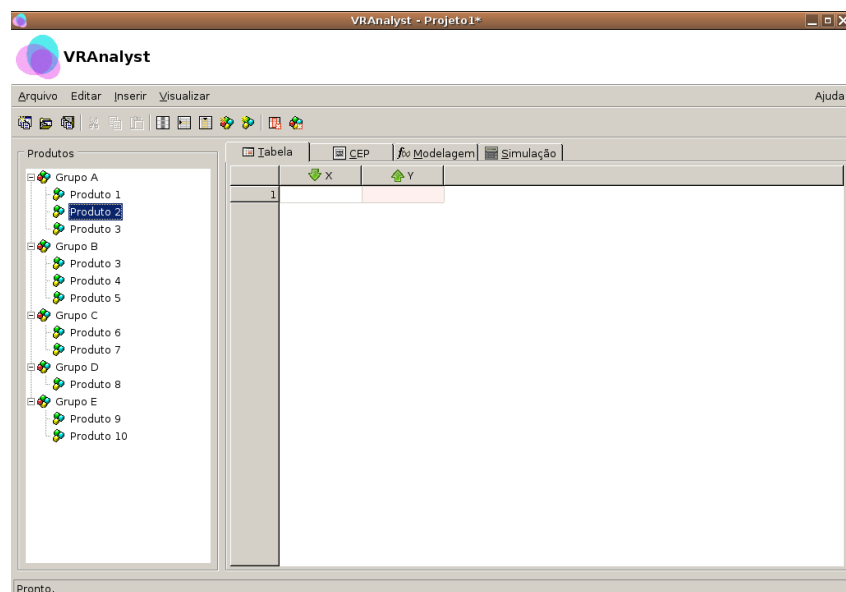


Figura 3.7: Produtos e grupos na árvore de produtos.

É importante notar que quando se clica com o mouse sobre um produto na árvore de produtos, este produto é marcado com um retângulo azul, que indica que o mesmo passou a ser o produto ativo. A tela do VRAnalyst é sempre montada em função do produto que está ativo na árvore de produtos. Se o produto ativo for modificado, a tela do VRAnalyst será automaticamente atualizada, passando a exibir os dados referentes ao novo produto ativo.

3.5 Janela de Abas

É na janela de abas que os diferentes módulos do VRAnalyst são expostos. Na região superior da janela de abas, destacada na [Figura 3.8](#), ficam as guias das abas correspondentes aos módulos de entrada de dados, de CEP, de modelagem e de simulação. Para acessar o módulo desejado, basta clicar na guia da aba correspondente.

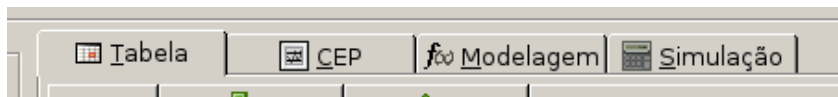


Figura 3.8: Guias da janela de abas.

Sempre que o usuário clica em uma guia da janela de abas, a tela do módulo correspondente é construída com base nos dados do produto ativo, ou seja, o produto que está selecionado na árvore de produtos.

Por padrão, as abas referentes a cada um dos quatro módulos estão todas visíveis. Entretanto, o usuário tem a opção de tornar algumas abas invisíveis. Isso pode ser feito através dos comandos do menu **Visualizar**, mostrado [Figura 3.9](#), que pode ser acessado através da barra de menus.

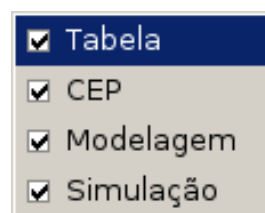


Figura 3.9: Menu **Visualizar**.

Para tornar a aba desejada visível ou invisível, basta marcar ou desmarcar o *checkbox* correspondente a mesma no menu **Visualizar**.

3.5.1 Módulo de Entrada de Dados

O módulo de entrada de dados é acessado através da guia **Tabela**, na janela de abas do VRAnalyst. É no módulo de entrada de dados que o usuário informa ao VRAnalyst os dados referentes às variáveis do produto ativo.

O módulo de entrada de dados é composto por uma tabela, onde as colunas representam as diferentes variáveis do processo e as linhas representam seqüências de medidas dessas variáveis.

Quando um novo produto é criado, por padrão, o VRAnalyst cria uma tabela com duas colunas de variáveis, uma de entrada e uma de saída, e uma linha de medidas.

Para gerenciar as variáveis e medidas de um produto, basta clicar com o botão direito na região da tabela para se ter acesso ao menu apresentado na [Figura 3.10](#).

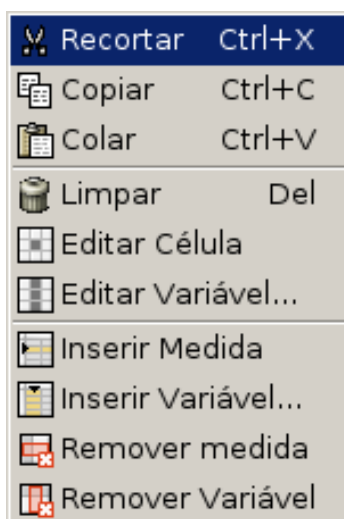


Figura 3.10: Menu do Módulo de entrada de dados.

Através deste menu, o usuário poderá inserir, remover, recortar, copiar, colar e limpar medidas ou sequências de medidas da tabela. Também através deste menu, o usuário poderá inserir, remover e editar variáveis. Quando o usuário deseja inserir uma nova variável ou editar uma variável já existente, uma janela de diálogo como a da [Figura 3.11](#) é apresentada.

Todas essas funcionalidades também podem ser acessadas através da barra de menus e da barra de atalhos.

A imagem mostra uma janela de diálogo intitulada "Editar Variável". Ela contém os seguintes campos: "Nome:" com o valor "Mn"; "Tipo de variável:" com o menu suspenso "Entrada"; "Tipo de dados:" com o menu suspenso "Número"; "Unidade:" com um campo de texto vazio; "Número de Réplicas:" com o valor "1" e um botão de setas; e uma caixa de seleção "Auto Preencher" desmarcada. Abaixo desses campos há um campo de texto "Descrição" contendo o texto "peso molecular médio em número". Na base da janela, há dois botões: "Cancelar" e "OK".

Figura 3.11: Diálogo para edição e criação de variáveis.

Para entrar com o valor de medidas para as variáveis, basta preencher o valor desejado na célula correspondente e, em seguida, pressionar a tecla enter. Quando se entra com um valor para a última medida da linha, se não houverem linhas adicionais, uma nova linha de medidas será automaticamente criada.

3.5.2 Módulo de CEP

A interface do Módulo CEP, apresentada na [Figura 3.12](#), possibilita a geração de cartas de controle para monitoração do aparecimento de causas especiais e da capacidade do processo.

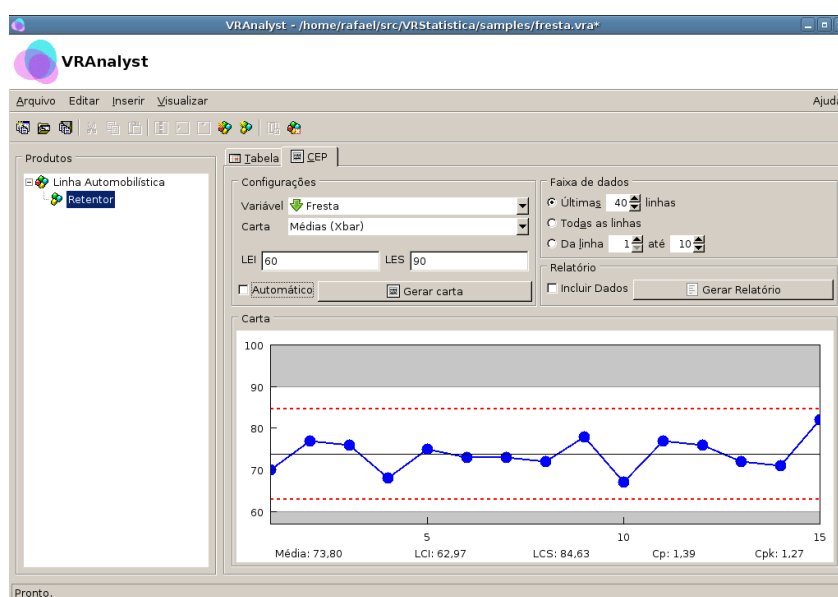


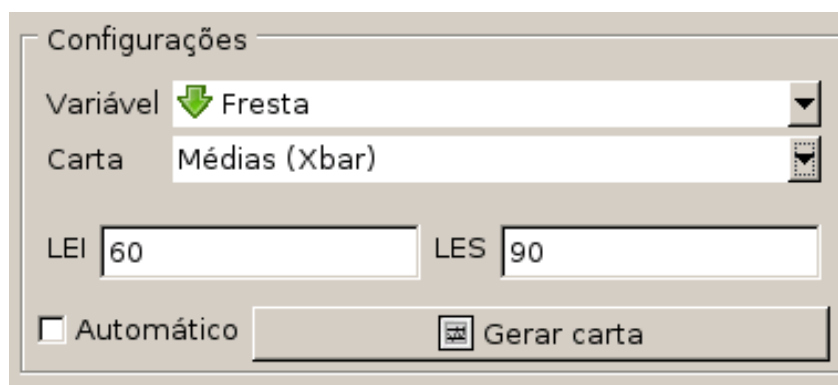
Figura 3.12: Módulo de CEP do VRAnalyst.

Existem quatro regiões no Módulo CEP:


- Configurações : onde são escolhidas a variável de interesse, a carta a ser construída e os limites de especificação da variável
- Faixa de dados : onde é selecionada a faixa de dados a ser utilizada para gerar a carta
- Relatório : onde pode-se gerar relatórios para impressão da carta
- Carta : onde é apresentada a carta selecionada juntamente com os índices de capacidade

Configurações

Na região de configurações do Módulo CEP, detalhada na [Figura 3.13](#), o usuário deverá escolher a variável e o tipo de carta desejado (detalhes sobre os diferentes tipos de carta podem ser encontrados na ??).



Configurações

Variável  Fresta

Carta Médias (Xbar)

LEI 60 LES 90


Automático  Gerar carta

Figura 3.13: Região de configurações do Módulo de CEP do VRA-nalyst.

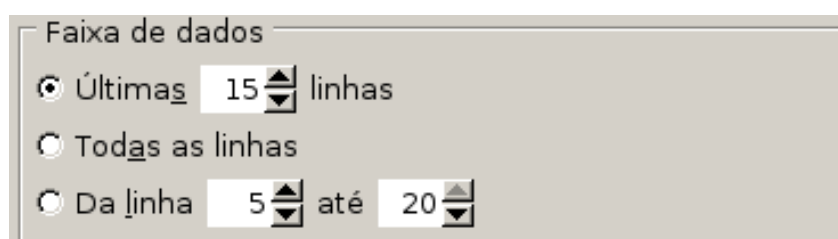
Faixa de Dados

Na região da seleção da faixa de dados, detalhada na [Figura 3.14](#), o usuário deverá informar as linhas da tabela a serem utilizadas na construção da carta. Existem três opções de faixa de dados, no caso da [Figura 3.14](#) estas são:

- Últimas 15 linhas : são utilizadas as últimas 15 linhas da tabela, esta opção é conveniente pois, a medida que são adicionados novos valores na tabela os valores antigos não são mais mostrados
- Todas as linhas : são utilizadas todas as linhas da tabela
- Da linha 5 até 20 : é utilizada uma faixa específica de dados que deverá ser informada pelo usuário.



Dica: Para uma boa visualização da carta de controle, esta deve conter entre 10 e 30 linhas de dados, então a opção *Todas as linhas* deve ser utilizada com cuidado.



Faixa de dados

Últimas 15 linhas

Todas as linhas

Da linha 5 até 20

Figura 3.14: Região de seleção da faixa de dados do Módulo de CEP.

Relatório

Na região de relatório, o usuário pode instruir a criação de uma versão impressa da carta de controle selecionada. Além disto, podem ser impressos também os dados utilizados para gerar a carta

selecionando a opção *Incluir Dados*. Quando o usuário pressiona o botão *Gerar Relatório*, uma janela de visualização da impressão, como a da [Figura 3.15](#) é apresentada.

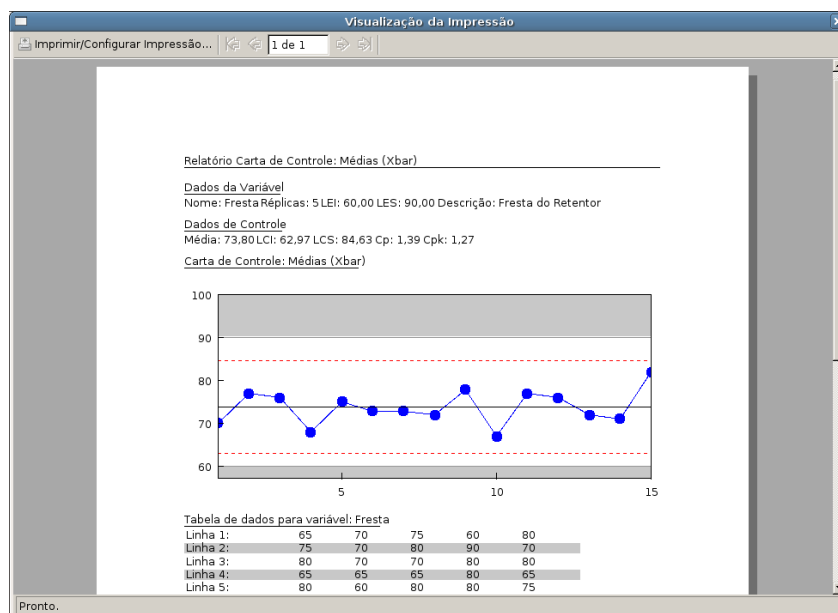


Figura 3.15: Visualização da impressão de uma carta de controle do Módulo de CEP.

Na janela de visualização da impressão o usuário pode enviar a impressão para uma impressora utilizando o botão *Imprimir* localizado no topo da janela.

Carta

Para a carta de defeitos apenas o índice de capacidade C_{pk} é apresentado, para a carta de amplitudes não há índices.

Na parte inferior da janela do CEP é construída a carta selecionada. Como pode ser visto na [Figura 3.16](#), além da carta de controle também são apresentados os índices de capacidade.

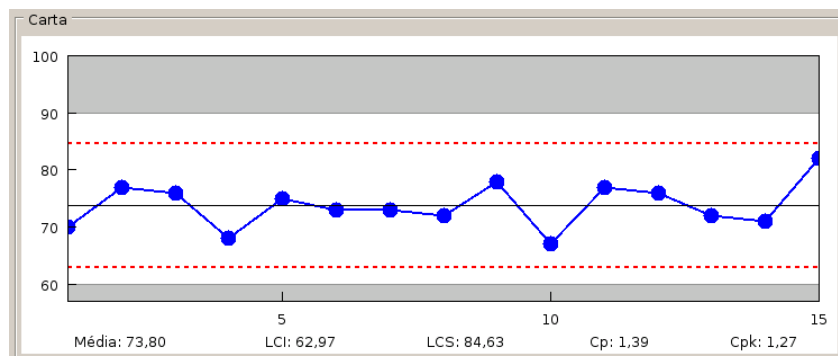


Figura 3.16: Carta de controle do Módulo de CEP.

3.5.3 Módulo de Modelagem

No módulo de modelagem, o usuário pode gerar modelos matemáticos que relacionam o comportamento das variáveis de saída com o comportamento das variáveis de entrada de um produto.

A tela de módulo de modelagem, que é apresentada na [Figura 3.17](#), pode ser acessada clicando com o botão esquerdo do mouse na aba **Modelagem**.

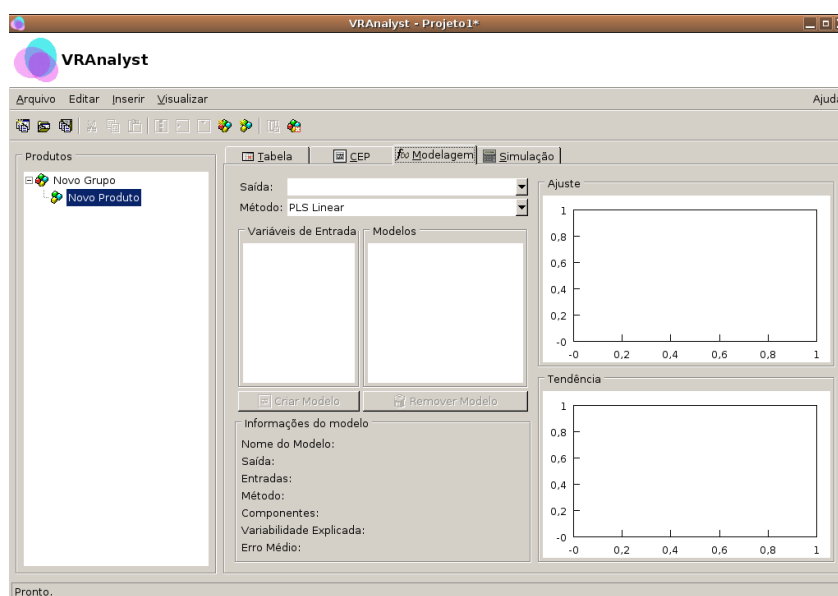


Figura 3.17: Módulo de modelagem do VRAnalyst.

Mais informações a respeito dos métodos de modelagem do tipo PLS podem ser encontradas na [Subseção 2.3.3](#) deste manual.

Na região superior da tela do módulo de modelagem, existem dois menus do tipo *drop down* onde o usuário pode selecionar a variável de saída a ser modelada e o método de modelagem a ser utilizado. No primeiro menu, estarão disponíveis para seleção todas as variáveis de saída do produto ativo. No segundo menu, estão disponíveis quatro métodos de modelagem do tipo PLS: Linear, Quadrático, Cúbico e Box-Tidwell.

Logo abaixo dos menus *drop down*, existem duas listas, uma com as variáveis de entrada e outra com os modelos do produto ativo. A lista de variáveis de entrada contém todas as variáveis de entrada do produto ativo. A lista de modelos contém os modelos que estão disponíveis para as variáveis de saída do produto ativo. Quando ainda não foram criados modelos, a lista de modelos permanece vazia, como no caso da [Figura 3.17](#).

Os botões para criar e remover modelos estão situados abaixo das listas. Sempre que o botão **Criar Modelo** é pressionado, a lista de modelos recebe um novo modelo, que é construído considerando a variável de saída e o método de modelagem selecionados nos

menus *drop down*. Para remover um modelo, basta clicar sobre o mesmo com o mouse para selecioná-lo e, em seguida, pressionar o botão **Remover Modelo**.

Um sumário com informações a respeito do modelo que está atualmente selecionado na lista de modelos é apresentado na parte inferior esquerda da tela do módulo de modelagem. As informações disponibilizadas nesse sumário são: o nome do modelo, a variável de saída que o modelo representa, as variáveis de entrada que o modelo considera, o método de modelagem utilizado na construção do modelo, o número de componentes considerados pelo modelo PLS, a fração da variabilidade da variável de saída que o modelo é capaz de explicar e o erro médio das predições do modelo.



Dica: Quando um modelo é criado, o VRAnalyst automaticamente gera um nome para ele com base na variável de saída que o modelo representa e no método de modelagem que foi utilizado. É importante notar que o campo **Nome do Modelo** do sumário é editável, ou seja, o usuário pode modificar os nomes dos diferentes modelos de um produto.



Dica: Quando um modelo é criado, o VRAnalyst sugere o número de componentes a serem utilizados para o cálculo das predições da variável de saída em questão. O número de componentes sugeridos pelo VRAnalyst é automaticamente mostrado no sumário assim que o modelo é criado. O número de componentes utilizados por um modelo, pode ser gerenciado através das setas do campo **Componentes** no sumário.

Mais informações a respeito dos gráficos de ajuste e de tendência podem ser encontradas na [Subseção 2.3.2](#) deste manual.

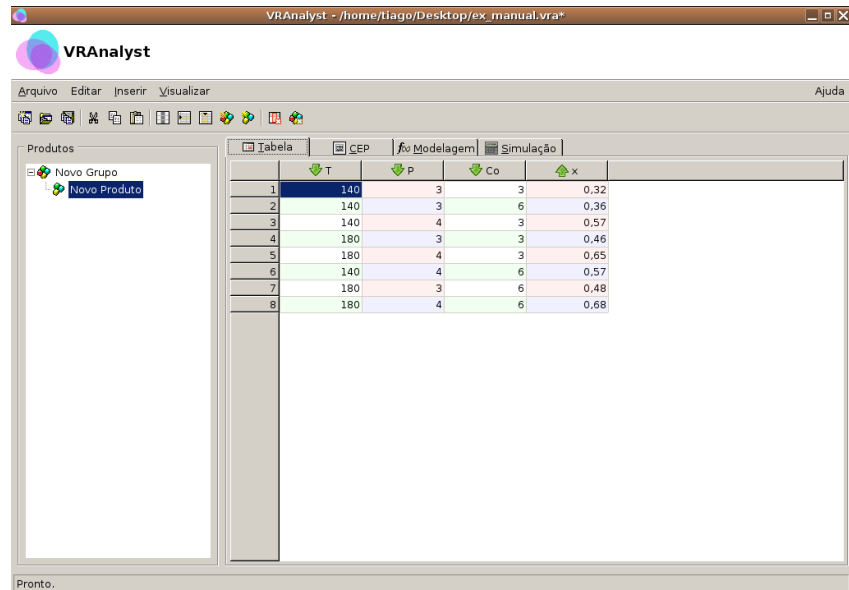
Na parte lateral direita da tela do módulo de modelagem, são apresentados gráficos que permitem uma avaliação visual do modelo ativo. Na parte superior, é exibido um gráfico de ajuste e, na parte inferior, é exibido um gráfico de tendência.

Exemplo

A tela do módulo de modelagem é construída com base na tabela do produto ativo. Na [Figura 3.17](#), a tela apresentada foi construída a partir de um produto sem variáveis de entrada e sem variáveis de saída. Os modelos são construídos com base em medidas das variáveis de entrada e saída do produto ativo e, portanto, para gerar modelos, é necessário que o usuário selecione um produto com variáveis de entrada e variáveis de saída definidas e também com algumas medidas das mesmas informadas no módulo de entrada de dados

Para ilustrar a utilização do módulo de modelagem, será retomado o exemplo do processo químico, apresentado na [Subseção 2.3.2](#)

deste manual. Para inserir esse exemplo no VRAnalyst, o usuário deve entrar na tabela do produto ativo clicando com o mouse na guia **Tabela** da janela de abas. Na tabela do produto, devem ser criadas três variáveis de entrada, T , P e C_0 , e uma variável de saída, x . Posteriormente, os valores das medidas experimentais da [Tabela 2.4](#) devem ser entrados na tabela do produto, como na [Figura 3.18](#).



The screenshot shows the VRAnalyst application window with the 'Tabela' tab selected. The table contains the following data:

	T	P	Co	x
1	140	3	3	0.32
2	140	3	6	0.36
3	140	4	3	0.57
4	180	3	3	0.46
5	180	4	3	0.65
6	140	4	6	0.57
7	180	3	6	0.48
8	180	4	6	0.68

Figura 3.18: Inserção dos dados do exemplo no VRAnalyst.

O usuário deve então retornar para o módulo de modelagem, clicando na guia Modelagem na janela de abas. Os dados das variáveis agora aparecerão na tela, conforme mostrado na [Figura 3.19](#).

As variáveis de entrada e saída estarão disponíveis na lista **Variáveis de Entrada** e no menu *drop down* **Saída** e, para construir um modelo que relaciona a variável de saída com as variáveis de entrada, basta selecionar um dos métodos de modelagem disponíveis no menu *drop down* **Método**, mostrado na [Figura 3.20](#), e, em seguida, clicar no botão **Criar Modelo**.

Uma vez gerado o modelo, aparecerão automaticamente na tela o sumário com as informações do modelo e os gráficos de ajuste e de tendência, da mesma forma que mostra a [Figura 3.21](#). O VRAnalyst sugere, com base em testes estatísticos, o número ideal de componentes a serem inseridos nos modelos do tipo PLS. Assim que o modelo é gerado, o número de componentes sugerido pelo VRAnalyst é exibido no campo **Componentes** no sumário de informações. Para modificar esse número, o usuário pode utilizar as setas na parte lateral direita do campo onde o mesmo é apresentado.

Para mais detalhes a respeito do número de componentes de um modelo do tipo PLS, consultar a [Subseção 2.3.3](#) deste manual.

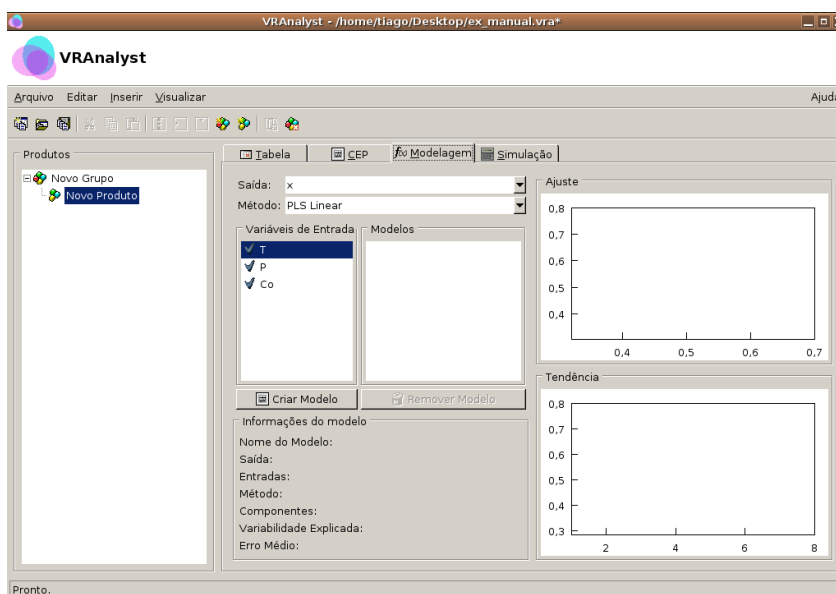


Figura 3.19: Geração de modelos para a predição da conversão do reator.

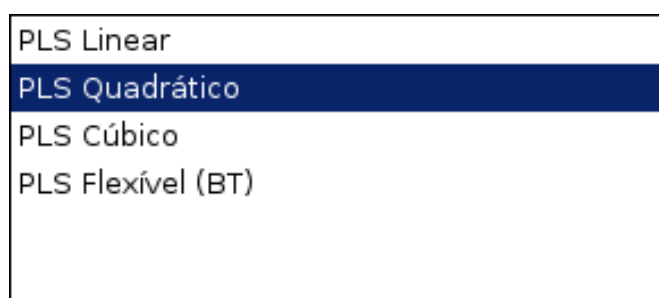


Figura 3.20: Métodos de modelagem disponíveis no VRAnalyst.

Se o usuário gerar outros modelos para o mesmo produto ativo, os mesmos serão acumulados na lista **Modelos**. Sempre que o usuário seleciona um modelo na lista, são apresentados na tela o sumário com as informações do modelo e os gráficos de ajuste e de tendência.



Dica: Na lista de variáveis de entrada, apenas uma única variável sempre estará selecionada. Clicando com o botão direito do mouse sobre esta variável, o usuário tem acesso a um menu de comandos. Nesse menu, através do *check box* **Entrada Seleccionada**, é possível escolher se a entrada será considerada ou não na construção do modelo e, através do botão **Criar Modelo**, também é possível adicionar novos modelos à lista.



Dica: Na lista de modelos, apenas um único modelo sempre estará selecionado. Clicando com o botão direito do mouse sobre este modelo, o usuário tem acesso a um menu de comandos.

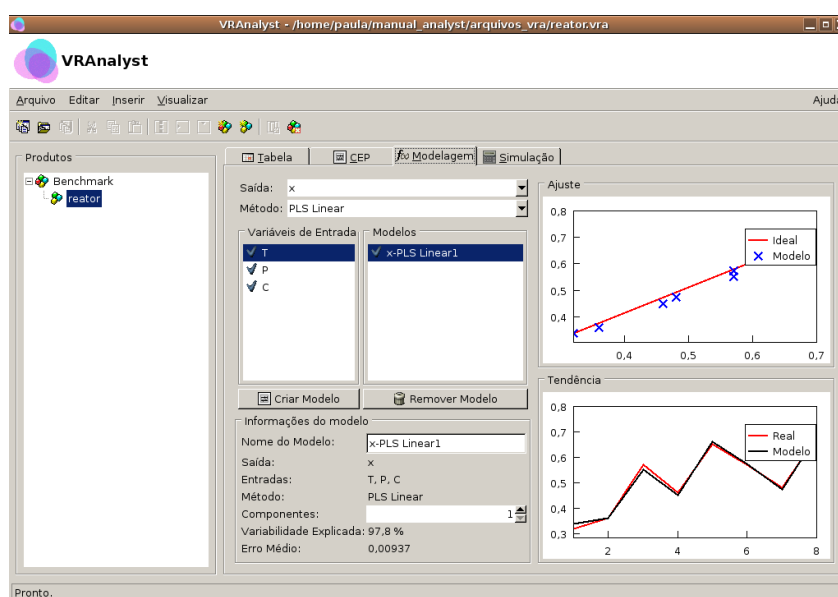


Figura 3.21: Modelo para a predição da conversão no reator.

Nesse menu, através do *checkbox* **Modelo visível**, é possível escolher se o modelo será ou não mostrado na tela do módulo de simulação e, através do botão **Remover Modelo**, também é possível remover modelos da lista de modelos.

3.5.4 Módulo de Simulação

Neste módulo, o usuário pode fazer simulações para prever os valores das variáveis de entrada e saída dos processos em situações pré-determinadas. A utilização do módulo de simulação é bastante simples. Após clicar na aba referente da janela de abas, as variáveis de entrada e saída correspondentes ao produto ativo aparecerão na tela para que o comportamento do processo seja simulado.

Existem duas possibilidades de simulação. A primeira opção é o modo normal, que executa o cálculo direto, ou seja, os valores das variáveis de saída são calculados diretamente pelos modelos a partir dos valores das variáveis de entrada. A segunda opção é o modo de otimização, que executa o cálculo reverso, ou seja, os valores das variáveis de entrada são calculados a partir dos valores das variáveis de saída.

As telas do módulo de simulação, tanto no modo normal quanto no módulo de otimização, são construídas com base nos modelos presentes na lista do produto ativo e suas variáveis de entrada. A [Figura 3.22](#) e a [Figura 3.23](#) mostram as telas correspondentes aos dois modos de cálculo do módulo de simulação construídas para

os modelos gerados no exemplo da [Subsecção 3.5.3](#) deste manual.

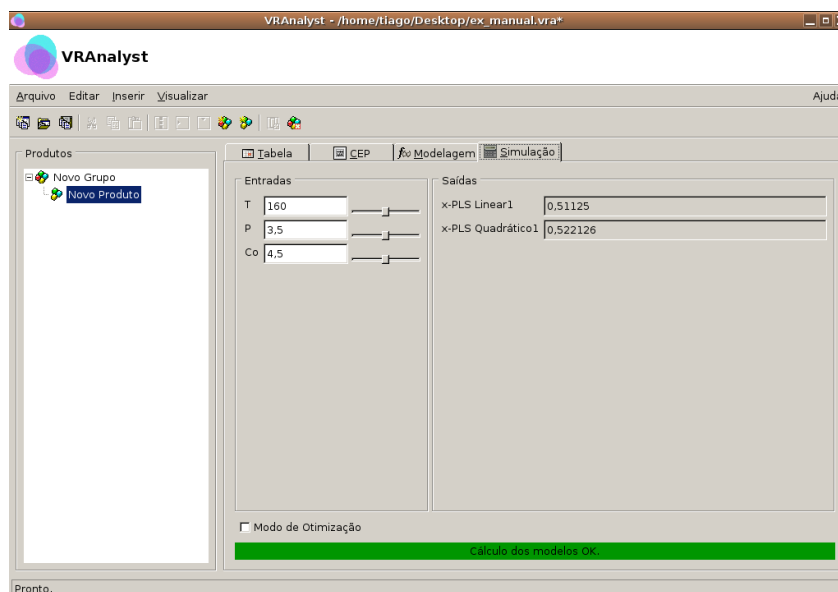


Figura 3.22: Cálculo das saídas em função das entradas.



Nota: Por padrão, o VRAnalyst é iniciado no modo normal. Para passar para o modo de otimização, basta assinalar a *checkbox* correspondente na parte inferior esquerda da tela. Uma vez no modo de otimização, basta desmarcar a *checkbox* para retornar ao modo normal.

Na parte lateral esquerda do módulo de simulação, está o grupo de entradas. Nesse grupo, as variáveis de entrada que copõem os modelos do produto selecionado são apresentadas. A [Figura 3.24](#) mostra uma visão detalhada do grupo de entradas quando se está operando no modo normal e no modo de otimização.

No modo normal, cada variável possui um rótulo indicando o seu nome, uma caixa de texto com o seu valor atual e um *slider*, que permite que o seu valor seja alterado livremente. No modo de otimização, cada variável recebe, antes do rótulo que indica o seu nome, um *checkbox*. Se o *checkbox* de uma variável de entrada for marcado, esta variável será modificada quando o usuário solicitar a execução da otimização, caso contrário a variável não terá seu valor alterado.



Dica: Ao passar com o cursor do mouse por cima do nome de uma variável de entrada, aparecerá um texto com os detalhes adicionais a respeito da mesma que foram informados no campo de descrição da variável, no módulo de entrada de dados.

Na região lateral direita do módulo de simulação está o grupo de saídas. Nesse grupo, as variáveis de saída que copõem os modelos

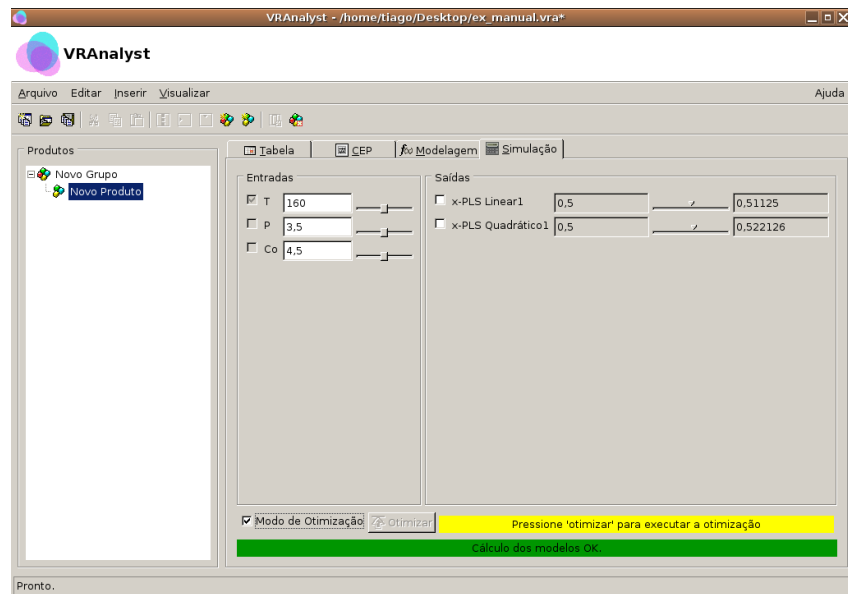
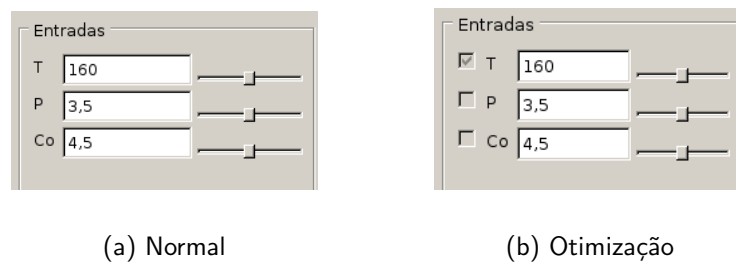


Figura 3.23: Cálculo das entradas em função das saídas.



(a) Normal

(b) Otimização

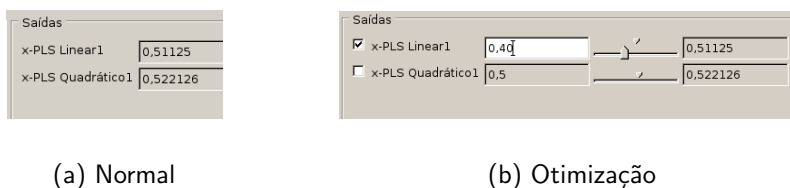
Figura 3.24: Entradas nos modos normal e de otimização.

do produto selecionado são apresentadas. A [Figura 3.25](#) mostra uma visão detalhada do grupo de saídas quando se está operando no modo normal e no modo de otimização.

No modo normal, cada variável de saída possui um rótulo indicando o seu nome e uma caixa indicando o seu valor atual, o qual é sempre calculado pelo modelo e não pode ser alterado pelo usuário. No modo de otimização, cada variável de saída recebe antes do rótulo que indica o seu nome um *check box*. Se o *check box* da variável de saída for marcado, esta variável será modificada quando o usuário solicitar a execução da otimização, caso contrário a variável não terá seu valor alterado. Além do *check box*, no modo de otimização, as variáveis de saída também recebem um *slider* e uma outra caixa de texto, que permitem que o usuário informe ao VRAnalyst o valor desejado para a variável após o término da otimização.



Nota: É importante destacar que o *slider* das variáveis de saída



(a) Normal

(b) Otimização

Figura 3.25: Saídas nos modo normal e de otimização.

é diferente, dependendo se o *check box* está marcado ou não. Quando o *check box* não está marcado, o *slider* possui apenas um indicador com o formato de uma seta de cabeça para baixo que indica o valor atual da variável de saída, que é calculado pelo modelo. O valor indicado por esse marcador é o mesmo apresentado na caixa de texto que situada à direita do *slider*. Quando o *check box* está marcado, o *slider* recebe outro marcador, que permite que o usuário modifique o valor desejado para a variável de saída. O valor indicado por esse marcador é o mesmo apresentado na caixa de texto situada à esquerda do *slider*.



Dica: Ao passar com o cursor do mouse por cima de uma variável de saída, aparecerá um texto com os detalhes adicionais a respeito da mesma que foram informados no campo de descrição da variável, no módulo de entrada de dados.



Dica: Se o usuário desejar que alguns dos modelos gerados para o produto selecionado sejam exibidos, ele pode desmarcar o *check box* **Modelo Visível**, que pode ser acessado clicando com o botão direito do mouse sobre os modelos correspondentes no módulo de modelagem.

Executando Simulações

Quando se está operando no modo normal, os cálculos da simulação são executados automaticamente pelo motor de cálculos do VRAnalyst a medida que o usuário altera os valores das variáveis de entrada. Quando está operando no modo de otimização, o VRAnalyst necessita que o usuário forneça as seguintes informações antes de executar os cálculos:

- Quais as variáveis de saída que serão otimizadas
- Qual o valor desejado para estas variáveis de saída
- Quais as variáveis de entrada que poderão ser modificadas

Essas informações devem ser passadas para o VRAnalyst através dos grupos de entradas e saídas, conforme explicado anteriormente. Feito isso, o botão **Otimizar** deve ser pressionado e o

motor de cálculos do VRAnalyst irá alterar os valores das variáveis de entrada tentando fazer com que os valores das variáveis de saída fiquem o mais próximo possível dos valores desejados. Dependendo da velocidade do computador, essa operação de busca pode demorar alguns instantes. Quando a otimização terminar, uma das três seguintes situações irá ocorrer:

- O VRAnalyst encontra uma combinação de valores para as variáveis de entrada que proporcionam exatamente os valores desejados para as variáveis de saída.
- O VRAnalyst encontra uma combinação de valores para as variáveis de entrada que proporcionam aproximadamente os valores desejados para as variáveis de saída.
- O VRAnalyst não encontra uma solução.

Se o VRAnalyst conseguir encontrar uma combinação das variáveis de entrada que proporcione valores das variáveis de saída exatamente iguais aos desejados, a barra de status da otimização mostrará uma mensagem com fundo verde dizendo "**Resultado da otimização alcançado**". Se o VRAnalyst conseguir encontrar uma combinação das variáveis de entrada que proporcione valores das variáveis de saída aproximadamente iguais aos desejados, a barra de status da otimização mostrará uma mensagem com fundo amarelo dizendo "**Resultado da otimização apenas aproximado**". Se o VRAnalyst não conseguir encontrar uma solução, a barra de status da otimização mostrará uma mensagem com fundo vermelho "**Condições desejadas inviáveis, altere as condições da otimização**".

Sempre que as variáveis de entrada ou de saída tiverem o seu valor modificado pelo motor de cálculos do VRAnalyst, um teste é aplicado sobre o novo valor, a fim de verificar a sua confiabilidade. O teste em questão é executado comparando os novos valores das variáveis com os limites de especificação das mesmas, que são assumidos como os valores máximos e mínimos de cada variável encontrados na tabela do produto. O teste pode fornecer três resultados:

- Se após a modificação todas as variáveis permanecerem dentro dos limites de especificação, a barra de status mostrará uma mensagem com fundo verde dizendo "**Cálculos dos modelos OK**".
- Se após a modificação pelo menos uma das variáveis tiverem seu valor fora dos limites de especificação com até 10% de tolerância, a barra de status mostrará uma mensagem

com fundo amarelo dizendo **"Valores foram extrapolados"** e, neste caso, as variáveis que tiveram seus valores extrapolados terão seus campos assinalados em amarelo.

- Se após a modificação pelo menos uma das variáveis tiverem seu valor fora dos limites de especificação com mais 10% de tolerância, a barra de status mostrará uma mensagem com fundo vermelho dizendo **"Valores fora da faixa de validade"** e, neste caso, as variáveis que tiveram seus valores extrapolados terão seus campos assinalados em vermelho.

4 Exemplos

Neste capítulo, a aplicabilidade do VRAnalyst como ferramenta para modelagem e controle estatístico de processos é ilustrada utilizando dados provenientes de diferentes setores industriais. O capítulo é dividido em duas seções, uma para controle estatístico de processos e a outra para modelagem estatística de processos.

Sumário

4.1 Controle Estatístico de Processos	48
4.1.1 Carta para Variáveis	48
4.1.2 Carta para Atributos	49
4.2 Modelagem Estatística de Processos	51
4.2.1 Predição do consumo de vapor em uma indústria	52
4.2.2 Predição do calor de endurecimento de amostras de cimento	55
4.2.3 Predição da taxa de queima de cigarros	58
4.2.4 Predição dos indicadores de qualidade de um creme de aplicação facial	61

4.1 Controle Estatístico de Processos

Nesta seção são apresentados alguns exemplos para ilustrar a aplicabilidade do VRAnalyst como ferramenta para controle estatístico de processos industriais.

4.1.1 Carta para Variáveis

As cartas para *variáveis* são utilizadas para propriedades mensuráveis com valores contínuos (mais detalhes na [Subseção 2.2.3](#)).

Os dados utilizados no exemplo desta seção podem ser encontrados no arquivo `fresta.vra` na pasta `samples` onde foi instalado o VRAnalyst. Para a versão *Demo* do VRAnalyst este exemplo é o demonstrativo *CEP - Variáveis Contínuas*.

Este exemplo trata do controle de qualidade para a fresta resultante do procedimento de dobra superior de retentores utilizados na indústria automobilística. Para este caso, foram utilizadas 5 réplicas para cada subgrupo, amostrados de hora em hora. As réplicas foram selecionadas como 5 peças consecutivas para garantir que a variabilidade entre elas seja puramente devido a causas comuns. Para cada peça a fresta resultante da dobra foi medida utilizando-se um paquímetro.

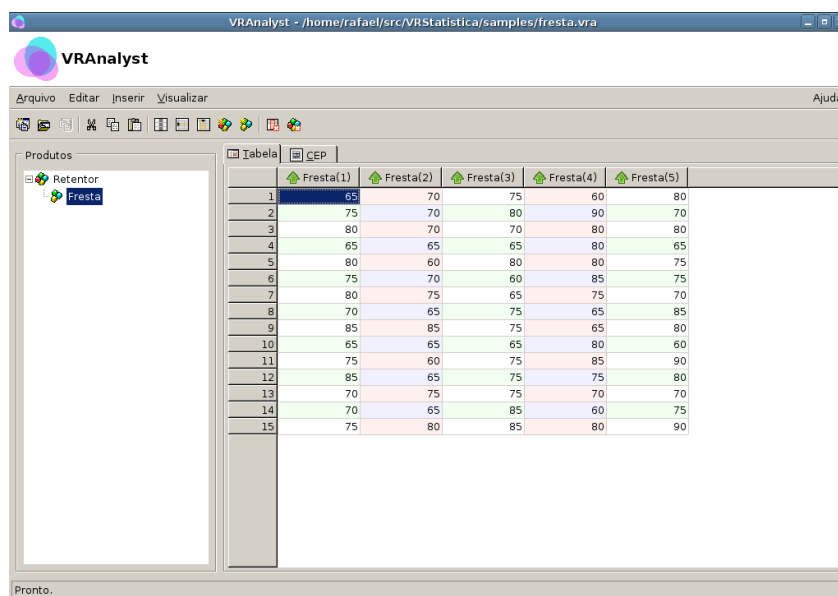
Os retentores têm a função principal de reter óleos, graxas e outros tipos de fluídos, que devem ser contidos no interior de uma máquina.

Os dados utilizados neste exemplo já foram apresentados na [Tabela 2.1](#). Estes mesmos dados estão contidos no arquivo do exemplo `fresta.vra`. Uma vez aberto o arquivo do exemplo, o VRAnalyst apresentará a tabela de dados, como visto na [Figura 4.1](#).

Na aba *CEP*, o usuário deverá selecionar o tipo de carta *Médias (Xbar)*, então poderá gerar a carta de controle pressionando o botão *Gerar Carta*. Após isto, o VRAnalyst apresentará a carta de controle juntamente com os índices de capacidade C_p e C_{pk} na parte inferior. Na [Figura 4.2](#) esta condição é demonstrada.

Como pode ser visto na [Figura 4.2](#), este exemplo não apresenta nenhuma causa especial, isto é, o processo está sob controle. Além disto o processo é atualmente capaz, com um $C_{pk} = 1,27$. Também pode-se concluir que a performance do processo poderia ser ainda melhorada se este fosse *centrado*, já que o C_p se apresentou maior que o C_{pk} .

Para a geração de um relatório impresso da carta de controle, basta pressionar o botão *Gerar Relatório*. Então uma janela de visualização de impressão, como apresentada na [Figura 4.3](#), aparecerá. Nesta janela basta pressionar o botão *Imprimir* para enviar o relatório a uma impressora.



The screenshot shows the VRAnalyst software interface. The main window displays a data table with 15 rows and 6 columns. The columns are labeled 'Fresta(1)' through 'Fresta(5)'. The data values are as follows:

	Fresta(1)	Fresta(2)	Fresta(3)	Fresta(4)	Fresta(5)
1	65	70	75	60	80
2	75	70	80	90	70
3	80	70	70	80	80
4	65	65	65	80	65
5	80	60	80	80	75
6	75	70	60	85	75
7	80	75	65	75	70
8	70	65	75	65	85
9	85	85	75	65	80
10	65	65	65	80	60
11	75	60	75	85	90
12	85	65	75	75	80
13	70	75	75	70	70
14	70	65	85	60	75
15	75	80	85	80	90

Figura 4.1: Tabela de dados do exemplo de CEP para *variáveis*.

Os seguintes pontos são interessantes para a exercitação:

- Ver como os índices se comportam quando os limites de especificação *LEI* e *LES* são modificados
- Alterar a faixa de dados e observar seus efeitos na carta de controle
- Modificar ou adicionar novos dados na tabela e observar como isto se reflete na carta
- Adicionar dados propositalmente muito maiores ou menores para observar a detecção de causas especiais
- Selecionar o tipo de carta *Amplitudes (R)* para gerar a carta de amplitudes

4.1.2 Carta para Atributos

As cartas para *atributos* são utilizadas para propriedades que não podem ser medidas com valores contínuos. Este é o caso, por exemplo, do número de riscos em uma determinada peça ou o número de embalagens com defeito ou amassadas em um determinado lote.

Os dados utilizados no exemplo desta seção podem ser encontrados no arquivo *latas.vra* na pasta *samples* onde foi instalado o VRAnalyst. Para a versão *Demo* do VRAnalyst este exemplo é o demonstrativo *CEP - Atributos*.

Este exemplo trata do controle de qualidade do número de latas

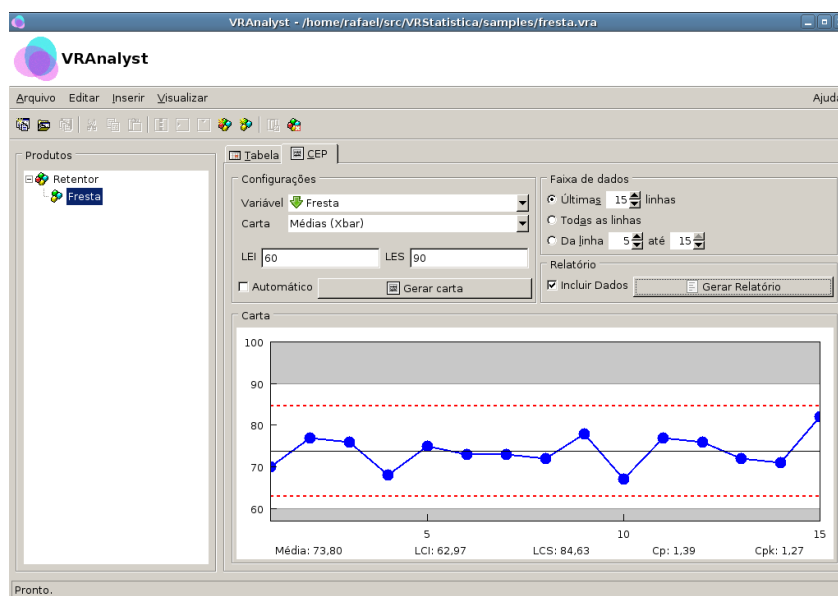


Figura 4.2: Carta de controle do exemplo de CEP para *variáveis*.

defeituosas (amassadas) em uma indústria de bebidas. Para isto foram consideradas amostras de 500 latas para cada lote produzido. Os defeitos nas amostras foram contados para a geração dos dados. Para o caso das cartas de atributos não existe o conceito de *réplica*.

Os dados para este exemplo já foram apresentados na [Tabela 2.3](#). Estes mesmos dados estão contidos no arquivo do exemplo `latas.vra`. Uma vez aberto o arquivo do exemplo, o VRAnalyst apresentará a tabela de dados, como visto na [Figura 4.4](#).

Selecionando a aba *CEP*, o usuário deverá escolher o tipo de carta *Número de Defeitos (c)* e então poderá gerar a carta de controle pressionando o botão *Gerar Carta*. Após isto, o VRAnalyst apresentará a carta de controle juntamente com o índice de capacidade C_{pk} na parte inferior. Na [Figura 4.5](#) esta condição é demonstrada.

Como pode ser visto na [Figura 4.5](#), este exemplo apresenta uma causa especial na amostra de número 10. Uma vez detectada uma causa especial a fonte geradora desta deve ser investigada para que possa ser permanentemente removida. Pode ser observado que o processo é atualmente capaz, com um $C_{pk} = 1,19$. Para o caso de carta de atributos o índice C_p não faz sentido e, portanto, não é apresentado.



Atenção: Para o cálculo dos limites de controle e dos índices de capacidade as causas especiais não são consideradas.

Para a geração de um relatório impresso da carta de controle,

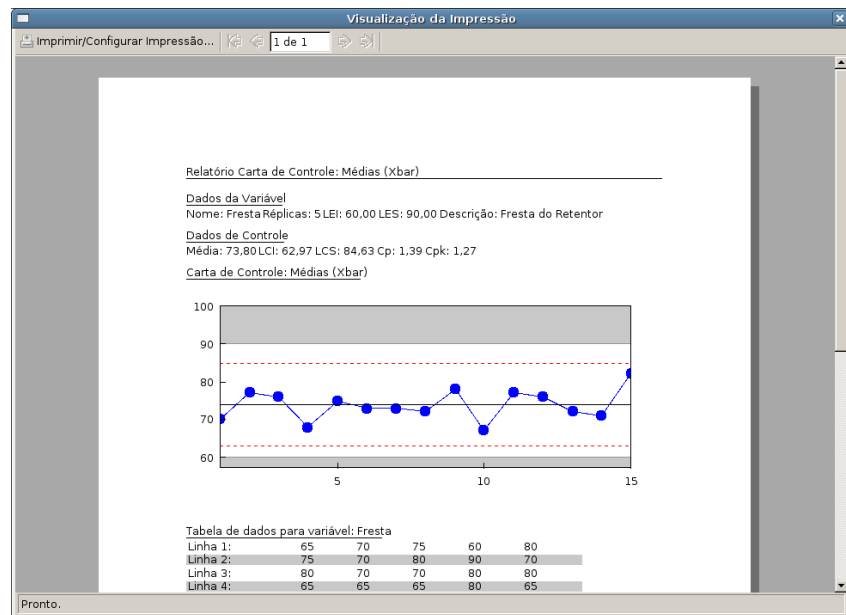


Figura 4.3: Visualização da impressão da carta de controle do exemplo de CEP para *variáveis*.

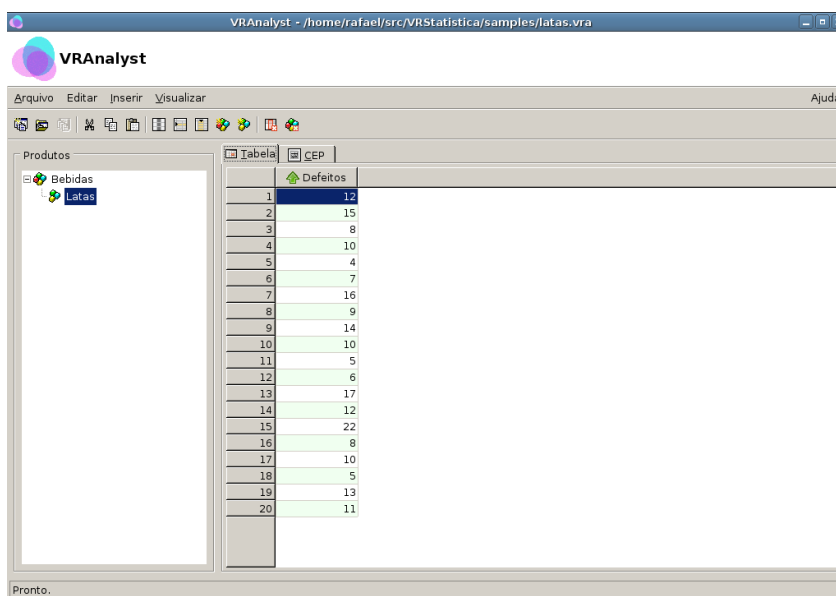
basta pressionar o botão *Gerar Relatório*. Então uma janela de visualização de impressão, como apresentada na [Figura 4.6](#), aparecerá. Nesta janela basta pressionar o botão *Imprimir* para enviar o relatório a uma impressora.

Os seguintes pontos são interessantes para a exercitação:

- Ver como o índice C_{pk} se comporta quando o limite de especificação LES é modificado
- Alterar a faixa de dados e observar seus efeitos na carta de controle
- Modificar ou adicionar novos dados na tabela e observar como isto se reflete na carta
- Adicionar dados propositalmente muito maiores ou menores para observar a detecção de causas especiais

4.2 Modelagem Estatística de Processos

Nesta seção são apresentados alguns exemplos para ilustrar a aplicabilidade do VRAnalyst como ferramenta para modelagem e simulação de processos industriais.



The screenshot shows the VRAnalyst application window. On the left, there is a 'Produtos' (Products) sidebar with 'Bebidas' (Beverages) and 'Latas' (Cans) listed. The main area displays a table titled 'Tabela' (Table) with a sub-tab 'CEP'. The table contains 20 rows of data. The status bar at the bottom indicates 'Pronto.' (Ready).

	CEP
1	12
2	15
3	8
4	10
5	4
6	7
7	16
8	9
9	14
10	10
11	5
12	6
13	17
14	12
15	22
16	8
17	10
18	5
19	13
20	11

Figura 4.4: Tabela de dados do exemplo de CEP para *atributos*.

4.2.1 Predição do consumo de vapor em uma indústria

Neste exemplo, será estudado o consumo de vapor em uma unidade industrial de produção de glicerina. Com o objetivo de gerar um modelo matemático capaz de prever a quantidade de vapor que a unidade irá consumir, por 25 meses consecutivos, o consumo mensal de vapor do processo foi monitorado. Na [Tabela 4.1](#), os consumos mensais de vapor, denotados por Y , são apresentados juntamente com as variáveis de entrada do modelo, denotadas por $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7$ e X_8 que são, respectivamente, a quantidade de ácido armazenada no mês, a quantidade de glicerina produzida no mês, o número de partidas da unidade no mês, o número de dias no mês, o número de dias no mês em que a unidade foi operada, o número de dias no mês com temperatura abaixo de 32 °F, a temperatura ambiente média no mês e a velocidade média do vento no mês.

Para inserir esse exemplo no VRAnalyst, o usuário deve entrar com os dados da [Tabela 4.1](#) na tabela do produto ativo, clicando com o mouse na guia **Tabela** da janela de abas. Na tabela do produto, devem ser criadas oito variáveis de entrada, $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7$ e X_8 e uma variável de saída, Y . Posteriormente, os valores das medidas experimentais da devem ser entrados na tabela do produto, como na [Figura 4.7](#).

O usuário deve então retornar para o módulo de modelagem, clicando na guia modelagem na janela de abas. Os dados das variáveis agora aparecerão na tela, conforme mostrado na [Figura 4.8](#).

Tabela 4.1: Inserção dos dados do exemplo no VRAnalyst.

mês	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	Y
1	5.20	0.61	4.00	31.0	20.0	22.0	35.0	7.40	11.0
2	5.12	0.64	5.00	29.0	20.0	25.0	29.7	8.00	11.1
3	6.19	0.78	4.00	31.0	23.0	17.0	30.8	7.40	12.5
4	3.89	0.49	4.00	30.0	20.0	22.0	58.8	7.50	8.40
5	6.28	0.84	5.00	31.0	21.0	0.0	61.4	5.50	9.27
6	5.76	0.74	4.00	30.0	22.0	0.0	71.3	8.90	8.73
7	3.45	0.42	2.00	31.0	11.0	0.0	74.4	4.10	6.36
8	6.57	0.87	5.00	31.0	23.0	0.0	76.7	4.10	8.50
9	5.69	0.75	4.00	30.0	21.0	0.0	70.7	4.10	7.82
10	6.14	0.76	5.00	31.0	20.0	0.0	57.5	4.50	9.14
11	4.84	0.65	4.00	30.0	20.0	11.0	46.4	10.3	8.24
12	4.88	0.62	4.00	31.0	21.0	12.0	28.9	6.90	12.2
13	6.03	0.79	5.00	31.0	21.0	25.0	28.1	6.60	11.9
14	4.55	0.60	5.00	28.0	19.0	18.0	39.1	7.30	9.57
15	5.71	0.70	4.00	31.0	23.0	5.0	46.8	8.10	10.94
16	5.67	0.74	4.00	30.0	20.0	7.0	48.5	8.40	9.58
17	6.72	0.85	6.00	31.0	22.0	0.0	59.3	6.10	10.1
18	4.95	0.67	4.00	30.0	22.0	0.0	70.0	4.90	8.11
19	4.62	0.45	3.00	31.0	11.0	0.0	70.0	4.60	6.83
20	6.60	0.95	4.00	31.0	23.0	0.0	74.5	3.70	8.88
21	5.01	0.64	4.00	30.0	20.0	0.0	72.1	4.70	7.68
22	5.68	0.75	6.00	31.0	21.0	1.0	58.1	5.30	8.47
23	5.28	0.70	4.00	30.0	20.0	14.0	44.6	6.20	8.86
24	5.36	0.67	4.00	31.0	20.0	22.0	33.4	6.80	10.4
25	5.87	0.70	5.00	31.0	22.0	28.0	28.6	7.50	11.1

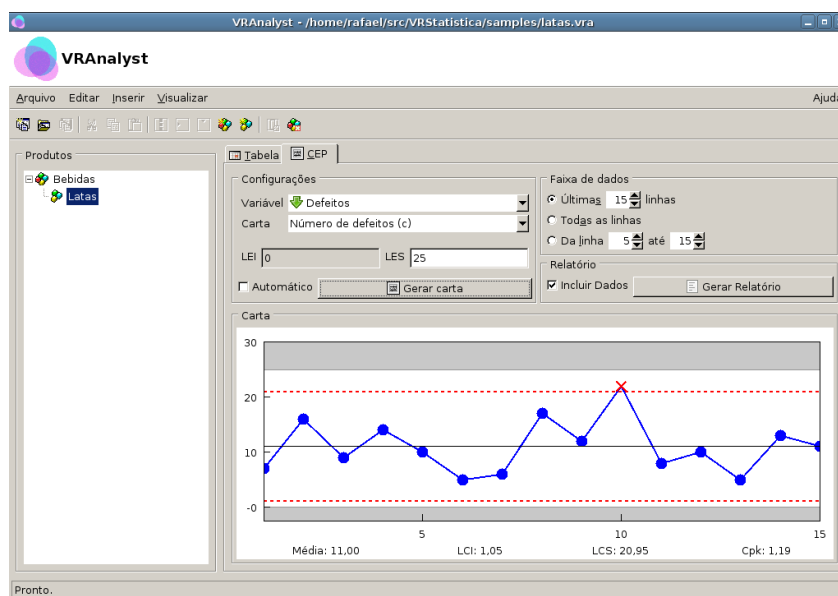


Figura 4.5: Carta de controle do exemplo de CEP para *atributos*.

Para mais detalhes a respeito do número de componentes de um modelo do tipo PLS, consultar a [Subsecção 2.3.3](#) deste manual.

O VRAnalyst sugere, com base em testes estatísticos, o número ideal de componentes a serem inseridos nos modelos do tipo PLS. Assim que o modelo é gerado, o número de componentes sugerido pelo VRAnalyst é exibido no campo **Componentes** no sumário de informações. Para modificar esse número, o usuário pode utilizar as setas na parte lateral direita do campo onde o mesmo é apresentado.

As variáveis de entrada e saída estarão disponíveis na lista **Variáveis de Entrada** e no menu *drop down* **Saída** e, para construir um modelo que relaciona a variável de saída com as variáveis de entrada, basta selecionar um dos métodos de modelagem disponíveis no menu *drop down* **Modelo** e, em seguida, clicar no botão **Criar Modelo**.

Uma vez gerado o modelo, aparecerão automaticamente na tela o sumário com as informações do modelo e os gráficos de ajuste e de tendência. A [Figura 4.9](#) mostra os gráficos de tendência para os modelos linear e quadrático, que explicam respectivamente, 94.9% e 97.5% da variabilidade do consumo de vapor ao longo dos meses.

Para acessar o simulador e fazer previsões do consumo mensal de vapor da unidade, basta acessar o módulo de simulação do VRAnalyst, clicando com o mouse na aba **Simulação**. Então, as listas de variáveis estarão preenchidas com os modelos gerados no módulo de modelagem e suas entradas, permitindo que o usuário execute simulações. Na [Figura 4.10](#), é a apresentado o simulador

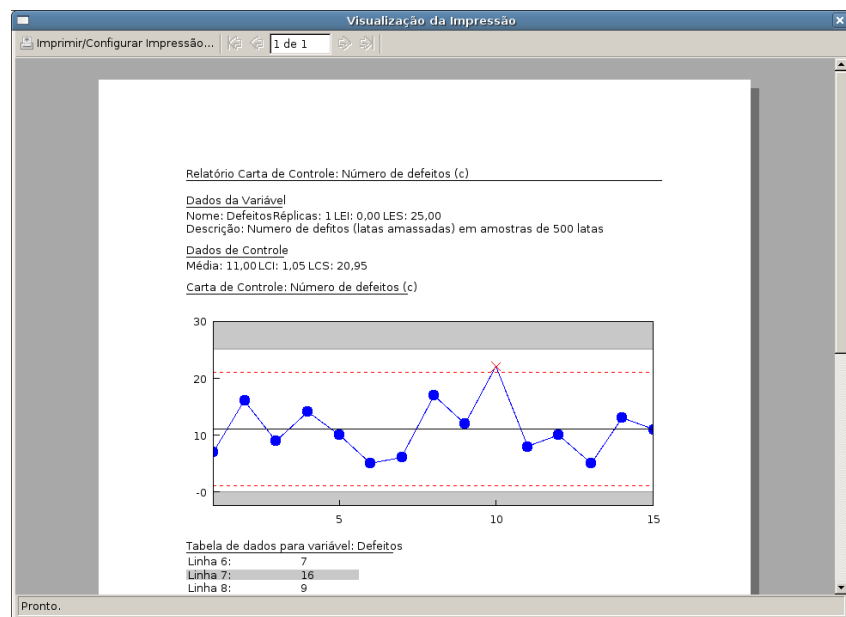


Figura 4.6: Visualização da impressão da carta de controle do exemplo de CEP para *atributos*.

com os modelos linear e quadrático.

4.2.2 Predição do calor de endurecimento de amostras de cimento

Neste exemplo, um processo para produção de cimento é estudado. As variáveis de entrada do processo são: o teor em massa de quatro componentes do produto, aluminato de tricálcio, silicato de tricálcio, ferrito de tricálcio alumínio e silicato de beta-dicálcio, respectivamente denotadas por X_1 , X_2 , X_3 e X_4 . A variável de saída, denotada por Y , é o calor gasto para endurecer o cimento em uma condição padrão. Na [Tabela 4.2](#), estão disponíveis resultados de uma série de experimentos onde o calor necessário para endurecer o cimento é medido para 13 amostras com diferentes composições.

Para inserir esse exemplo no VRAnalyst, o usuário deve entrar com os dados da [Tabela 4.2](#) na tabela do produto ativo, clicando com o botão esquerdo do mouse na guia **Tabela** da janela de abas. Na tabela do produto, devem ser criadas quatro variáveis de entrada, X_1 , X_2 , X_3 e X_4 , e uma variável de saída, Y . Posteriormente, os valores das medidas experimentais devem ser preenchidos na tabela do produto, como na [Figura 4.11](#).

O usuário deve então retornar para o **Módulo de Modelagem**, clicando na guia modelagem na Janela de Abas. Os dados das variáveis agora aparecerão na tela, conforme mostrado na [Figura 4.12](#). O VRAnalyst sugere, com base em testes estatísticos,

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	Y
1	6.2	0.61	4	31	20	22	35	54.8	7.4	10.88
2	5.12	0.64	5	29	20	25	29.7	64	8	11.13
3	6.19	0.78	4	31	23	17	30.8	54.8	7.4	12.51
4	3.89	0.49	4	30	20	22	58.8	56.3	7.5	8.4
5	6.28	0.84	5	31	21	0	61.4	30.3	5.5	9.27
6	5.76	0.74	4	30	22	0	71.3	79.2	8.9	8.73
7	3.45	0.42	2	31	11	0	74.4	16.8	4.1	6.36
8	6.57	0.87	5	31	23	0	76.7	16.8	4.1	8.5
9	5.68	0.75	4	30	21	0	70.7	16.8	4.1	7.82
10	6.14	0.76	5	31	20	0	57.5	20.3	4.5	8.14
11	4.84	0.65	4	30	20	11	46.4	106.1	10.3	8.24
12	4.88	0.62	4	31	21	12	28.9	47.6	6.9	12.19
13	6.03	0.79	5	31	21	25	28.1	43.6	6.6	11.88
14	4.55	0.6	5	28	19	18	39.1	53.3	7.3	9.57
15	5.71	0.7	4	31	23	5	46.8	65.6	8.1	10.94
16	5.67	0.74	4	30	20	7	48.5	70.6	8.4	9.58
17	6.72	0.85	6	31	22	0	59.3	37.2	6.1	10.09
18	4.95	0.67	4	30	22	0	70	24	4.9	8.11
19	4.62	0.45	3	31	11	0	70	21.2	4.6	6.83
20	6.6	0.95	4	31	23	0	74.5	13.7	3.7	8.88
21	5.01	0.64	4	30	20	0	72.1	22.1	4.7	7.68
22	5.68	0.75	6	31	21	1	58.1	28.1	5.3	8.47
23	5.28	0.7	4	30	20	14	44.6	38.4	6.2	8.86
24	5.36	0.67	4	31	20	22	33.4	46.2	6.8	10.36

Figura 4.7: Inserção dos dados do exemplo do estudo de consumo de vapor no VRAnalyst.

Para mais detalhes a respeito do número de componentes de um modelo do tipo PLS, consultar a [Subseção 2.3.3](#) deste manual.

o número ideal de componentes a serem inseridos nos modelos do tipo PLS. Assim que o modelo é gerado, o número de componentes sugerido pelo VRAnalyst é exibido no campo **Componentes** no sumário de informações. Para modificar esse número, o usuário pode utilizar as setas na parte lateral direita do campo onde o mesmo é apresentado.

As variáveis de entrada e saída estarão disponíveis na lista **Variáveis de Entrada** e no menu *drop down* **Saída** e, para construir um modelo que relaciona a variável de saída com as variáveis de entrada, basta selecionar um dos métodos de modelagem disponíveis no menu *drop down* **Modelo** e, em seguida, clicar no botão **Criar Modelo**.

Uma vez gerado o modelo, aparecerão automaticamente na tela o sumário com as informações do modelo e os gráficos de ajuste e de tendência. A [Figura 4.13](#) mostra os gráficos de tendência para os modelos linear e quadrático, que explicam respectivamente, 98% e 98.4% da variabilidade do tempo de endurecimento das amostras de cimento.

Para acessar o simulador e fazer previsões do tempo necessário para o endurecimento do cimento, basta acessar o módulo de simulação do VRAnalyst, clicando com o mouse na aba **Simulação**. Então, as listas de variáveis estarão preenchidas com os modelos gerados no módulo de modelagem e suas entradas, permitindo que o usuário execute simulações. Na [Figura 4.14](#), é apresentado o simulador com os modelos linear e quadrático.

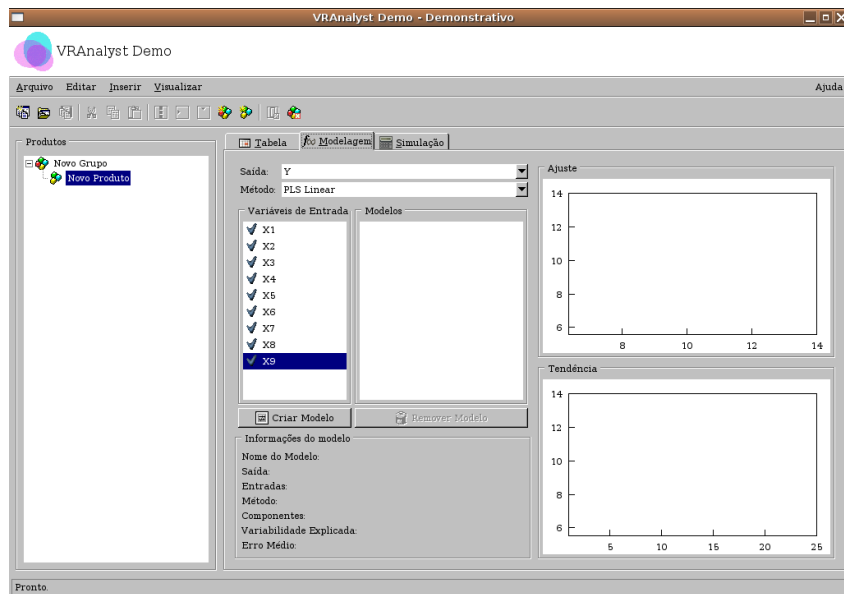


Figura 4.8: Geração de modelos para a predição do consumo de vapor.

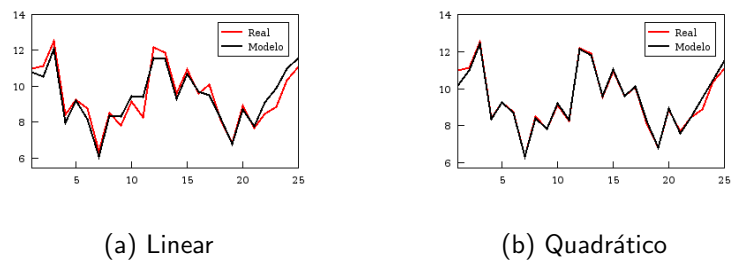


Figura 4.9: Predições de consumo de vapor na unidade para produção de glicerina pelos modelos linear e quadrático.



Atenção: É importante ter cuidado com o número de componentes utilizado nos modelos no exemplo da indústria de cimento. Pode ser observado que, principalmente nos modelos não lineares, quando mais de um componente é considerado, as predições tendem para valores absurdos quando os valores das variáveis de entrada são diferente dos das amostras da [Tabela 4.2](#). Isso acontece devido à natureza dos dados desse problema, que apresentam variáveis de entrada com uma forte dependência mútua. A construção de modelos a partir desse tipo de dados é dificultada, ou até mesmo inviabilizada, quando se utiliza métodos de modelagem tradicionais. Felizmente, os métodos de modelagem do tipo PLS disponíveis no VRAnalyst permitem lidar adequadamente com este tipo de dados, bastando para isso selecionar o

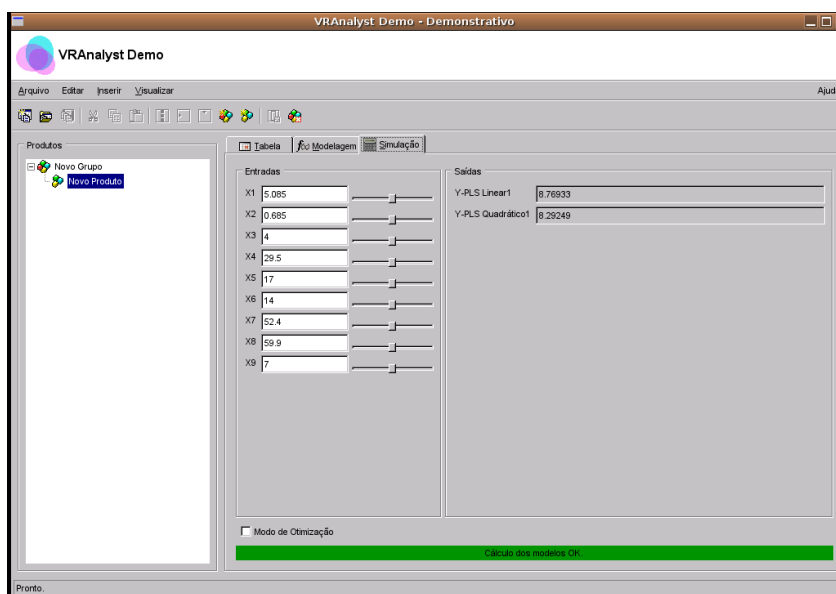


Figura 4.10: Simulação do consumo mensal de vapor da unidade.

número correto de componentes para o modelo, conforme descrito na [Subseção 2.3.3](#) deste manual.

4.2.3 Predição da taxa de queima de cigarros

Neste exemplo, serão estudados os dados provenientes da análise de 25 amostras de folhas de tabaco. O objetivo do estudo é a determinação da relação existente entre a fração mássica de alguns constituintes químicos das folhas e a taxa de queima, em polegadas por 1000 segundos, dos cigarros produzidos a partir das mesmas. As variáveis de entrada X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 e X_6 são, respectivamente, o teor percentual em massa de nitrogênio, cloro, potássio, fósforo, cálcio e magnésio presente nas folhas. Na [Tabela 4.3](#), estão disponíveis os resultados de uma série de testes de queima de cigarros confeccionados a partir de 25 amostras de folhas com diferentes composições.

Para inserir esse exemplo no VRAnalyst, o usuário deve entrar com os dados da [Tabela 4.3](#) na tabela do produto ativo, clicando com o mouse na guia **Tabela** da Janela de Abas. Na tabela do produto, devem ser criadas seis variáveis de entrada, X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 e X_6 e uma variável de saída, Y . Posteriormente, os valores das medidas experimentais da devem ser entrados na tabela do produto, como na [Figura 4.15](#).

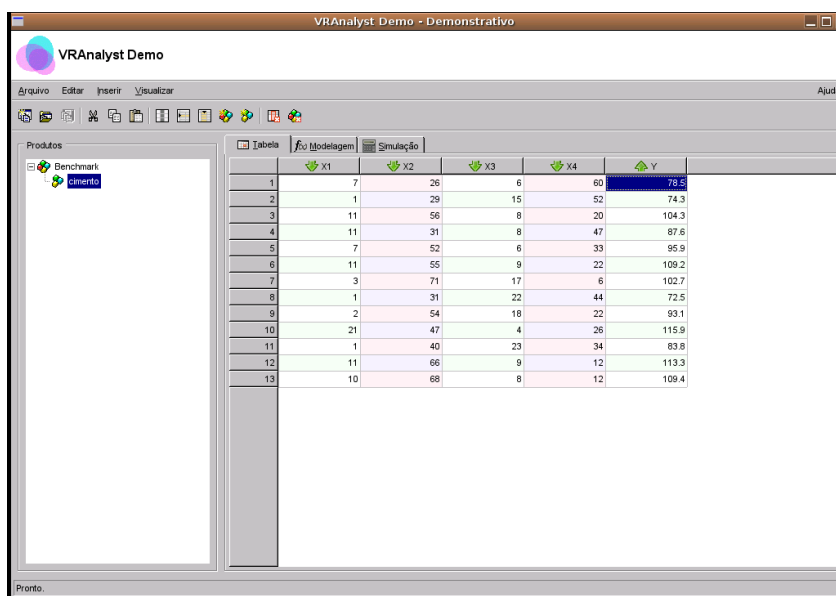
O usuário deve então retornar para o módulo de Modelagem, clicando na guia modelagem na Janela de Abas. Os dados das variáveis agora aparecerão na tela, conforme mostrado na [Figura 4.16](#).

Tabela 4.2: Composição e calor de endurecimento das amostras de cimento.

amostra	X_1	X_2	X_3	X_4	Y
1	7	26	6	60	78,5
2	1	29	15	52	74.3
3	11	56	8	20	104.3
4	11	31	8	47	87.6
5	7	52	6	33	95.9
6	11	55	9	22	109.2
7	3	71	17	6	102.7
8	1	31	22	44	72.5
9	2	54	18	22	93.1
10	21	47	4	26	115.9
11	1	40	23	34	83.8
12	11	66	9	12	113.3
13	10	68	8	12	109.4

Tabela 4.3: Composição das folhas e taxa de queima dos cigarros.

amostra	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	Y
1	2.02	2.90	2.17	0.51	3.47	0.91	1.55
2	2.62	2.78	1.72	0.50	4.57	1.25	1.63
3	2.08	2.68	2.40	0.43	3.52	0.82	1.66
4	2.20	3.17	2.06	0.52	3.69	0.97	1.52
5	2.38	2.52	2.18	0.42	4.01	1.12	1.70
6	2.03	2.56	2.57	0.44	2.79	0.82	1.68
7	2.87	2.67	2.64	0.50	3.92	1.06	1.78
8	1.88	2.58	2.22	0.49	3.58	1.01	1.57
9	1.93	2.26	2.15	0.56	3.57	0.92	1.60
10	2.57	1.74	1.64	0.51	4.38	1.22	1.52
11	1.95	2.15	2.48	0.48	3.28	0.81	1.68
12	2.03	2.00	2.38	0.50	3.31	0.98	1.74
13	2.50	2.07	2.32	0.48	3.72	1.04	1.93
14	1.72	2.24	2.25	0.52	3.10	0.78	1.77
15	2.53	1.74	2.64	0.50	3.48	0.93	1.94
16	1.90	1.46	1.97	0.46	3.48	0.90	1.83
17	2.18	0.74	2.46	0.48	3.16	0.86	2.09
18	2.16	2.84	2.36	0.49	3.68	0.95	1.72
19	2.14	3.30	2.04	0.48	3.28	1.06	1.49
20	1.98	2.90	2.16	0.48	3.56	0.84	1.52
21	1.89	2.82	2.04	0.53	3.56	1.02	1.64
22	2.07	2.79	2.15	0.52	3.49	1.04	1.40
23	2.08	3.14	2.60	0.50	3.30	0.80	1.78
24	2.21	2.81	2.18	0.44	4.16	0.92	1.93
25	2.00	3.16	2.22	0.51	3.73	1.07	1.53



	X1	X2	X3	X4	Y
1	7	26	6	60	78.5
2	1	29	15	52	74.3
3	11	56	8	20	104.3
4	11	31	8	47	87.6
5	7	52	6	33	95.9
6	11	55	9	22	109.2
7	3	71	17	6	102.7
8	1	31	22	44	72.5
9	2	54	18	22	93.1
10	21	47	4	26	115.9
11	1	40	23	34	83.8
12	11	66	9	12	113.3
13	10	68	8	12	109.4

Figura 4.11: Inserção dos dados das amostras de cimento no VRAnalyst.

Para mais detalhes a respeito do número de componentes de um modelo do tipo PLS, consultar a [Subseção 2.3.3](#) deste manual.

O VRAnalyst sugere, com base em testes estatísticos, o número ideal de componentes a serem inseridos nos modelos do tipo PLS. Assim que o modelo é gerado, o número de componentes sugerido pelo VRAnalyst é exibido no campo **Componentes** no sumário de informações. Para modificar esse número, o usuário pode utilizar as setas na parte lateral direita do campo onde o mesmo é apresentado.

As variáveis de entrada e saída estarão disponíveis na lista **Variáveis de Entrada** e no menu *drop down* **Saída** e, para construir um modelo que relaciona a variável de saída com as variáveis de entrada, basta selecionar um dos métodos de modelagem disponíveis no menu *drop down* **Modelo** e, em seguida, clicar no botão **Criar Modelo**.

Uma vez gerado o modelo, aparecerão automaticamente na tela o sumário com as informações do modelo e os gráficos de ajuste e de tendência. A [Figura 4.17](#) mostra os gráficos de tendência para os modelos linear com dois componentes e quadrático com três componentes, que explicam respectivamente, 94.6% e 95.8% da variabilidade da taxa de queima das amostras de cigarros.

Para acessar o simulador e fazer previsões da taxa de queima dos cigarros, basta acessar o módulo de simulação do VRAnalyst, clicando com o mouse na aba **Simulação**. Então, as listas de variáveis estarão preenchidas com os modelos gerados no módulo de modelagem e suas entradas, permitindo que o usuário exe-

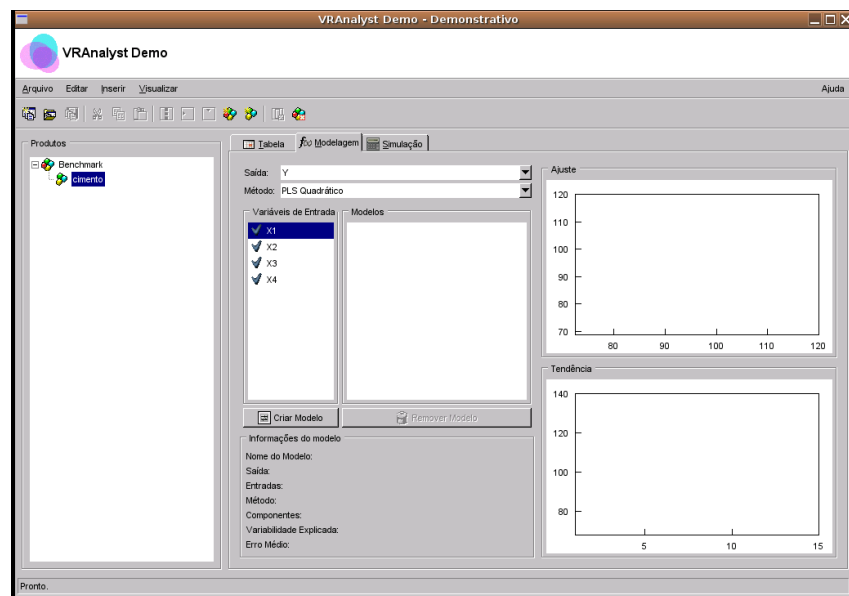


Figura 4.12: Geração de modelos para a predição do tempo de endurecimento do cimento.

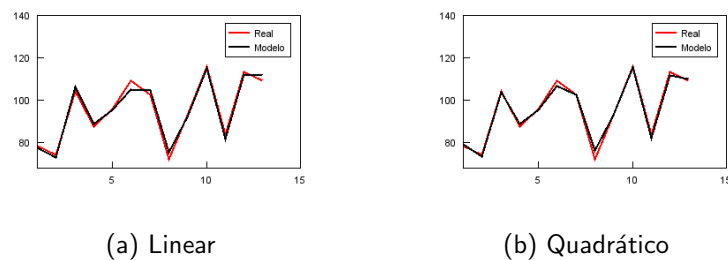


Figura 4.13: Predições do tempo necessário para o endurecimento das amostras de cimento pelos modelos linear e quadrático.

cute simulações. Na [Figura 4.18](#), é apresentado o simulador com os modelos linear com dois componentes e quadrático com três componentes.

4.2.4 Predição dos indicadores de qualidade de um creme de aplicação facial

Neste exemplo, será estudada a relação existente entre a composição química e a qualidade de um creme de aplicação facial. O estudo será baseado em um conjunto de 17 formulações do creme, que se distinguem entre si pelo teor em que 8 constituintes químicos do produto (tais como glicerina, água, emulsificador e vaselina) estão presentes. A [Tabela 4.4](#) apresenta aqui a chamada matriz de composição dos cremes. Os oito constituintes dos cremes serão denotados por X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 , X_6 , X_7 e X_8 .

O produto final é avaliado pela análise de uma bateria de indica-

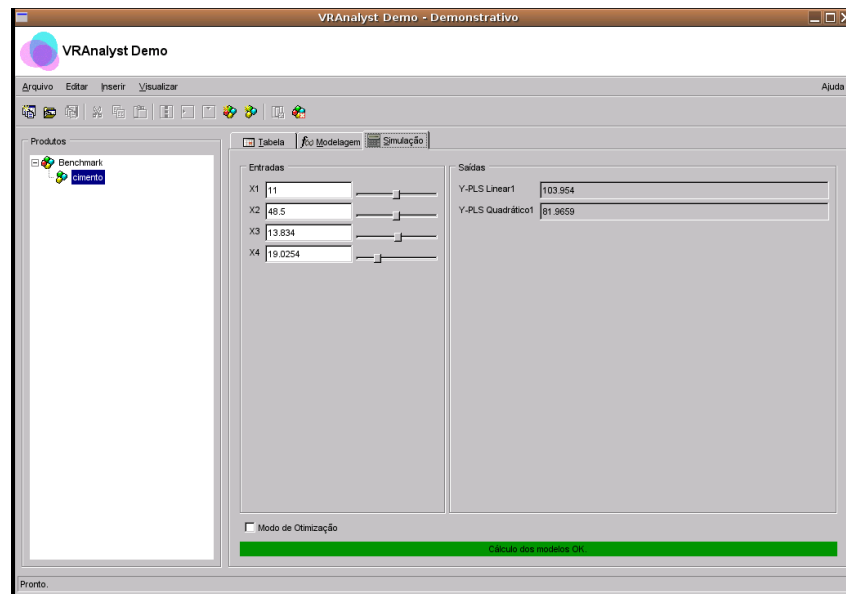


Figura 4.14: Predição do calor necessário para endurecer o cimento.

dores de qualidade, que são determinados em relação a um creme padrão. Os 17 cremes foram submetidos a um teste onde cada creme foi aplicado em uma das metades do rosto de dez modelos enquanto, ao mesmo tempo, o creme padrão é aplicado à outra metade do rosto. Juntamente com as modelos, avaliadores treinados forneceram sua opinião a respeito de 11 indicadores de qualidade do produto (tais como facilidade de aplicação, oleosidade, maciez e brilho) em relação ao creme padrão. A [Tabela 4.5](#) apresenta aqui a chamada matriz de qualidade dos cremes, que contém os valores médios computados a partir da opinião das dez modelos sobre cada um dos 17 cremes. Os onze indicadores de qualidade dos cremes serão denotados por $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{10}$ e Y_{11} .

Estes dados foram levantados com o objetivo de desenvolver um modelo que relacione a composição dos cremes com os indicadores de qualidade, o que permitiria a obtenção de formulações ótimas para os cremes através da escolha da composição apropriada.

Para inserir esse exemplo no VRAnalyst, o usuário deve entrar com os dados da [Tabela 4.4](#) e da [Tabela 4.5](#) na tabela do produto ativo, clicando com o mouse na guia **Tabela** da Janela de Abas. Na tabela do produto, devem ser criadas oito variáveis de entrada, $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7$ e X_8 e onze variáveis de saída, $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{10}$ e Y_{11} .

Após entrar com os valores das medidas experimentais na tabela do produto ativo o usuário deve retornar para o módulo de Mo-

Tabela 4.4: Composição das 17 amostras de creme.

amostra	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
1	1.0000	0.0000	0.6667	0.0000	0.7000	0.0000	0.0000	1.0000
2	0.0000	0.7143	0.0000	0.0000	0.2000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.4286	0.4286	0.0000	0.0000	0.7000	1.0000	0.7500	0.0000
4	0.0000	0.8571	0.0000	0.0000	0.7000	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	0.4000	0.0000	0.0000	0.8929
6	0.7143	0.0000	0.6667	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	0.7143
7	0.6714	0.0000	0.5000	0.2666	0.4600	0.7500	0.0000	0.5357
8	0.8000	0.0000	0.6667	0.0000	0.7000	0.0000	0.5000	0.0000
9	0.0000	0.8571	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.5357
10	0.7143	0.0000	0.6667	0.0000	0.7000	0.7500	0.0000	0.0000
11	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.1000	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.4286	0.4286	1.0000	0.0000	0.7000	0.0000	0.0000	0.0000
13	0.0000	0.7428	0.0000	0.6667	0.7000	0.0000	0.0000	0.8929
14	0.0000	0.7428	0.0000	0.6667	0.3000	0.2000	1.0000	0.8929
15	0.8829	0.0000	0.0000	0.0000	0.5000	0.0000	0.7500	0.0000
16	0.0000	0.4571	0.0000	0.5333	0.4000	0.0000	0.0000	0.0000
17	0.0000	0.5714	0.0000	0.6667	0.3600	0.5000	0.0000	0.8929

Tabela 4.5: Indicadores de qualidade das 11 amostras de creme.

amostra	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9	Y_{10}	Y_{11}
1	5.29	9.20	10.0	10.0	10.0	5.79	3.41	4.40	7.05	10.0	2.32
2	10.0	1.67	0.00	0.00	5.27	5.79	0.00	0.00	7.04	1.28	2.32
3	5.29	4.13	2.16	4.42	6.18	0.92	5.06	8.10	4.09	1.28	9.15
4	6.30	2.93	1.82	0.53	0.46	5.79	3.06	2.50	7.05	4.68	3.05
5	9.50	7.07	5.00	5.58	6.18	5.79	1.65	2.50	10.0	1.91	0.73
6	3.70	10.0	6.08	8.85	4.81	6.71	0.00	6.30	7.05	4.68	4.63
7	0.00	0.00	5.74	7.26	5.73	2.50	6.00	6.90	8.41	5.96	8.41
8	6.30	7.07	6.76	3.89	1.45	6.71	6.59	3.80	10.0	2.66	6.95
9	7.90	5.00	5.34	3.36	5.73	5.79	2.59	6.30	7.05	7.34	3.05
10	4.71	4.60	7.16	6.11	0.46	0.00	5.76	1.90	10.0	0.00	6.95
11	5.29	4.60	5.74	4.42	1.91	2.50	7.53	1.20	8.41	5.33	5.37
12	7.40	8.73	7.16	4.42	0.00	4.21	2.12	1.20	7.05	3.30	0.73
13	5.80	5.00	6.42	7.26	5.73	6.71	7.29	3.10	7.05	5.96	6.95
14	7.40	7.53	6.08	7.26	6.72	10.0	4.35	5.60	0.00	0.64	0.00
15	7.90	8.33	4.66	3.90	3.82	5.00	10.0	2.50	4.09	7.34	10.0
16	5.13	5.00	6.76	4.60	4.43	6.45	6.59	2.49	7.05	3.29	8.05
17	4.71	7.53	5.74	7.79	10.0	6.71	8.00	10.0	1.36	10.0	5.37

The screenshot shows the VRAnalyst software interface. The main window displays a data table with 23 rows and 8 columns. The columns are labeled X1, X2, X3, X4, X5, X6, and Y. The data is as follows:

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Y
1	2.02	2.9	2.17	0.51	3.47	0.91	1.55
2	2.62	2.78	1.72	0.5	4.57	1.25	1.63
3	2.08	2.68	2.4	0.43	3.52	0.82	1.66
4	2.2	3.17	2.06	0.52	3.69	0.97	1.52
5	2.38	2.52	2.18	0.42	4.01	1.12	1.7
6	2.03	2.56	2.57	0.44	2.79	0.82	1.68
7	2.87	2.67	2.64	0.5	3.92	1.06	1.78
8	1.88	2.58	2.22	0.49	3.58	1.01	1.57
9	1.93	2.26	2.15	0.56	3.57	0.92	1.6
10	2.57	1.74	1.64	0.51	4.38	1.22	1.52
11	1.95	2.15	2.48	0.48	3.28	0.81	1.68
12	2.03	2	2.38	0.5	3.31	0.98	1.74
13	2.5	2.07	2.32	0.48	3.72	1.04	1.93
14	1.72	2.24	2.25	0.52	3.1	0.78	1.77
15	2.53	1.74	2.64	0.5	3.48	0.93	1.94
16	1.9	1.46	1.97	0.46	3.48	0.9	1.83
17	2.18	0.74	2.46	0.48	3.16	0.86	2.09
18	2.16	2.84	2.36	0.49	3.68	0.95	1.72
19	2.14	3.3	2.04	0.48	3.28	1.06	1.49
20	1.98	2.9	2.16	0.48	3.56	0.84	1.52
21	1.89	2.82	2.04	0.53	3.56	1.02	1.64
22	2.07	2.79	2.15	0.52	3.49	1.04	1.4
23	2.08	3.14	2.6	0.5	3.3	0.8	1.78

Figura 4.15: Inserção dos dados do exemplo do estudo da taxa de queima dos cigarros no VRAnalyst..

delagem, clicando na guia **Modelagem** na Janela de Abas. Os dados das variáveis agora aparecerão na tela e as variáveis de entrada e saída estarão disponíveis na lista **Variáveis de Entrada** e no menu *drop down* **Saída**. Neste exemplo, diferentemente dos exemplos anteriores, existem diversas variáveis de saída para serem modeladas. Nos módulos de modelagem e simulação, o usuário pode criar e comparar modelos para as diferentes variáveis de saída, como na [Figura 4.19](#) e na [Figura 4.20](#).

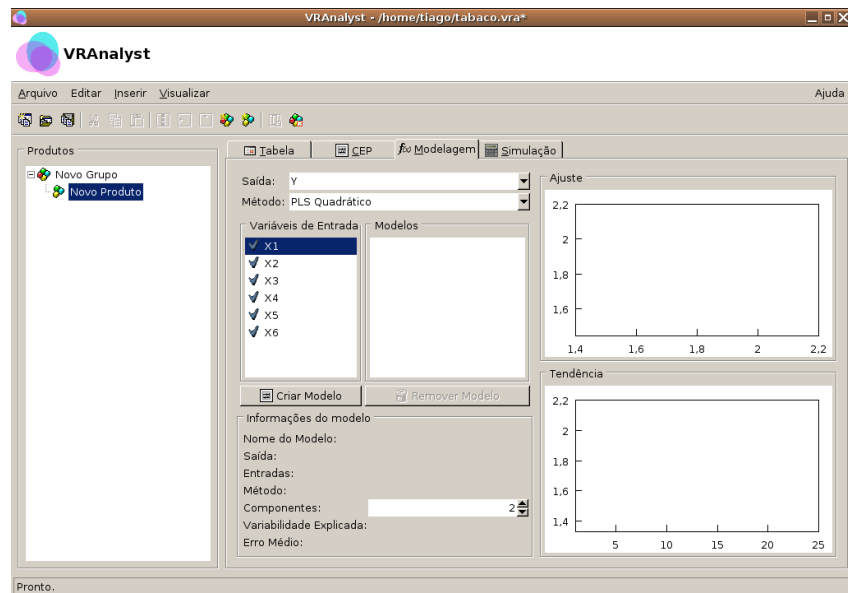
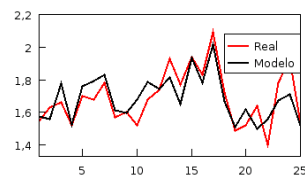
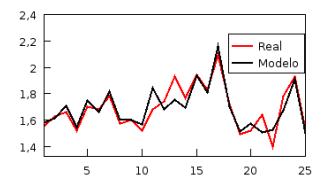


Figura 4.16: Geração de modelos para a predição da taxa de queima dos cigarros.



(a) Linear



(b) Quadrático

Figura 4.17: Predições da taxa de queima dos cigarros pelos modelos linear e quadrático.

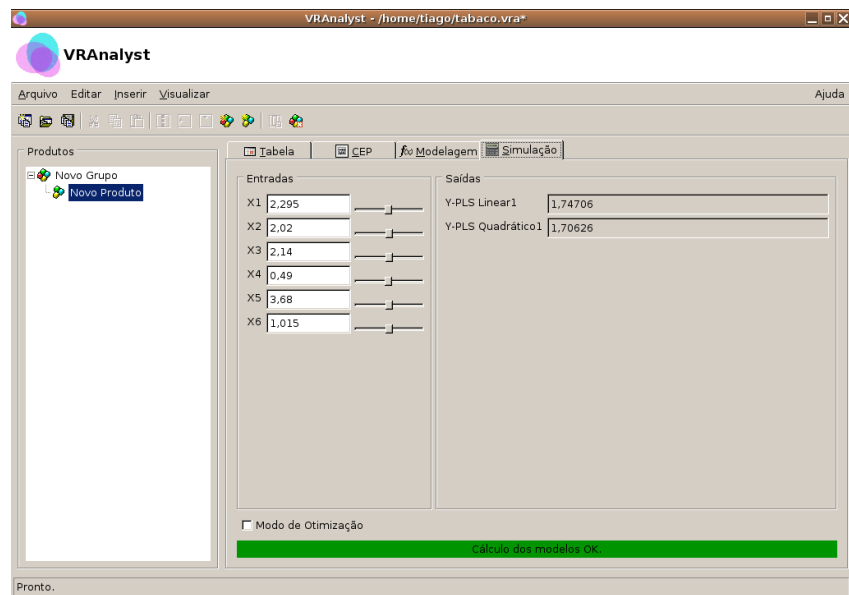


Figura 4.18: Predição da taxa de queima dos cigarros.

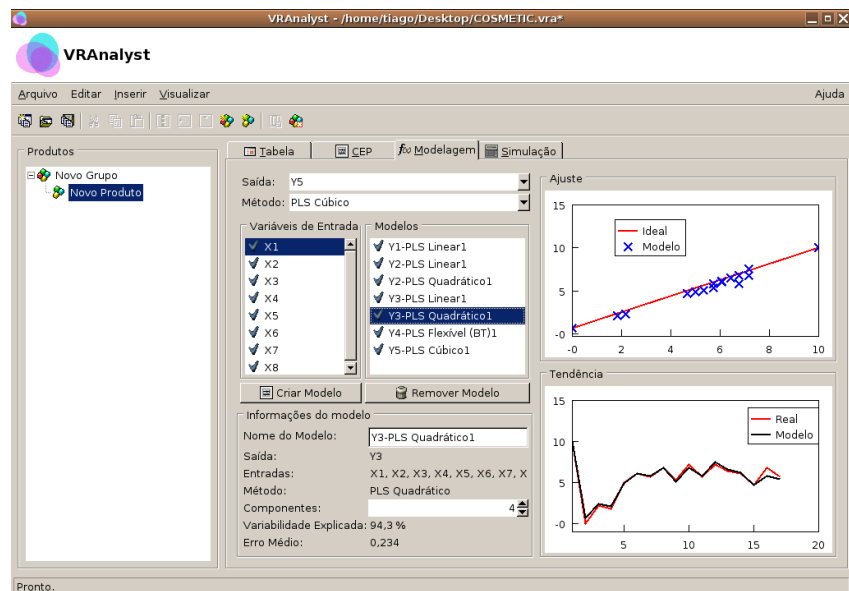


Figura 4.19: Geração de modelos para predição dos indicadores de qualidade do creme de aplicação facial.

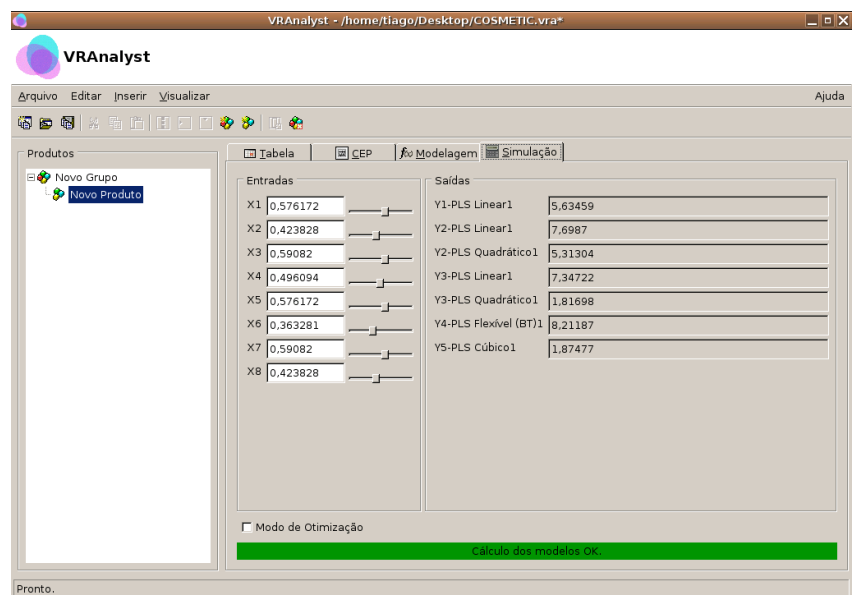


Figura 4.20: Predição dos indicadores de qualidade do creme de aplicação facial.

Índice Remissivo

- Árvore de Produtos, 30
- VRAnalyst
 - aplicações, 3
 - direitos autorais, iv
 - instalação, 3
 - o que é, 2
 - suporte, v
- Ambiente de Trabalho, 28
- Amostra, 8
- Barra de Atalhos, 30
- Barra de Comandos, 28
- Barra de Menus, 29
- CEP
 - C_p , 18
 - C_{pk} , 18
 - carta das amplitudes R , 12
 - carta das médias \bar{X} , 12
 - carta para atributos, 15
 - cartas de controle, 12
 - causas comuns, 11
 - causas especiais, 11
 - exemplo para atributos, 49
 - exemplo para variáveis, 48
 - o que é, 10
 - variabilidade, 11
- Chave eletrônica, 3
- Controle Estatístico de Processo, veja CEP
- Direitos autorais, iv
- Estatística
 - conceitos básicos, 8
 - definição de, 8
 - na indústria, 2
- Estruturação do Modelo, 20
 - modelo box-tidwell, 20
 - modelo cúbico, 20
 - modelo linear, 20
 - modelo quadrático, 20
- Experimentos, 9
 - planejamento de, 9
- Funções
 - definição de, 10
- Indústria Automobilística
 - exemplo de carta de controle, 48
- Indústria de Bebidas
 - exemplo de carta de controle, 49
- Indústria de Cimento
 - exemplo de modelagem, 55
- Indústria de Cosméticos
 - exemplo de modelagem, 61
- Indústria de Tabacos
 - exemplo de modelagem, 58
- Indústria Química
 - exemplo de modelagem, 52
- Instalação, 4
 - chave eletrônica, 3
 - Problemas, 4
- Janela de Abas, 32
 - módulo de CEP, 34
 - módulo de entrada de dados, 32
 - módulo de modelagem, 37
 - módulo de simulação, 41
- Módulo de CEP, 34
- Módulo de Entrada de Dados, 32
- Módulo de Modelagem, 37
 - exemplo, 38
- Módulo de Simulação, 41
 - executando simulações, 44
- Mínimos Quadrados, 21
- Modelagem Estatística
 - estimação de parâmetros, 21
 - estruturação do modelo, 20
 - indicadores, 24
 - motivação para o uso da, 18
 - o que é, 18
 - por regressão multivariável, 19

tópicos avançados, 24

Parâmetros

estimação por mínimos quadrados, 21

definição de, 10

PLS

conceitos básicos, 24

referências, 24

População, 8

Regressão Multivariável, 19

Símbolos e Convenções, vi

Suporte, v

Variáveis, 9

Variabilidade, 8