

GAMS – Sistema Geral de Modelagem Algébrica

O GAMS (General Algebraic Modeling System) é o software líder mundial em Programação Matemática, oferecendo uma linguagem de alto nível para formulação de modelos complexos de otimização. Desenvolvido especialmente para resolver problemas matemáticos desafiadores, o GAMS se tornou uma ferramenta essencial no campo da pesquisa operacional.

Esta apresentação irá guiá-lo através dos fundamentos do GAMS, suas aplicações e como utilizá-lo para resolver problemas reais de otimização. Seja você um estudante iniciante ou um pesquisador experiente, descubra como esta poderosa ferramenta pode transformar sua abordagem para a modelagem matemática.

Advanced Mathematical
Optimization Software



Revolucione! Seja THRIVE!
www.ia-labs.com.br

Sumário



Fundamentos

Introdução ao GAMS, histórico e evolução, estrutura básica e componentes da linguagem



Modelagem e Solução

Modelagem matemática no GAMS, solvers e algoritmos, aplicações práticas e exemplos de implementação



Recursos e Casos

Recursos avançados, estudos de caso, tendências futuras, conclusões e referências

Nossa jornada pelo universo do GAMS será dividida em três grandes blocos temáticos, começando pelos fundamentos essenciais, avançando para técnicas de modelagem e aplicações práticas, e culminando com recursos avançados e estudos de caso reais. Ao final, você terá uma visão completa desta poderosa ferramenta de otimização matemática.



Introdução ao GAMS



O GAMS representa uma ponte fundamental entre a matemática teórica e as aplicações práticas de otimização. Sua linguagem intuitiva permite aos usuários expressar problemas complexos de forma clara e concisa, facilitando tanto o desenvolvimento quanto a manutenção de modelos matemáticos sofisticados.

O que é GAMS?



Sistema de Modelagem

Um ambiente completo para formular problemas de otimização em linguagem algébrica clara e concisa



Linguagem Intuitiva

Sintaxe próxima da notação matemática, facilitando a expressão de modelos complexos



Interface Mediadora

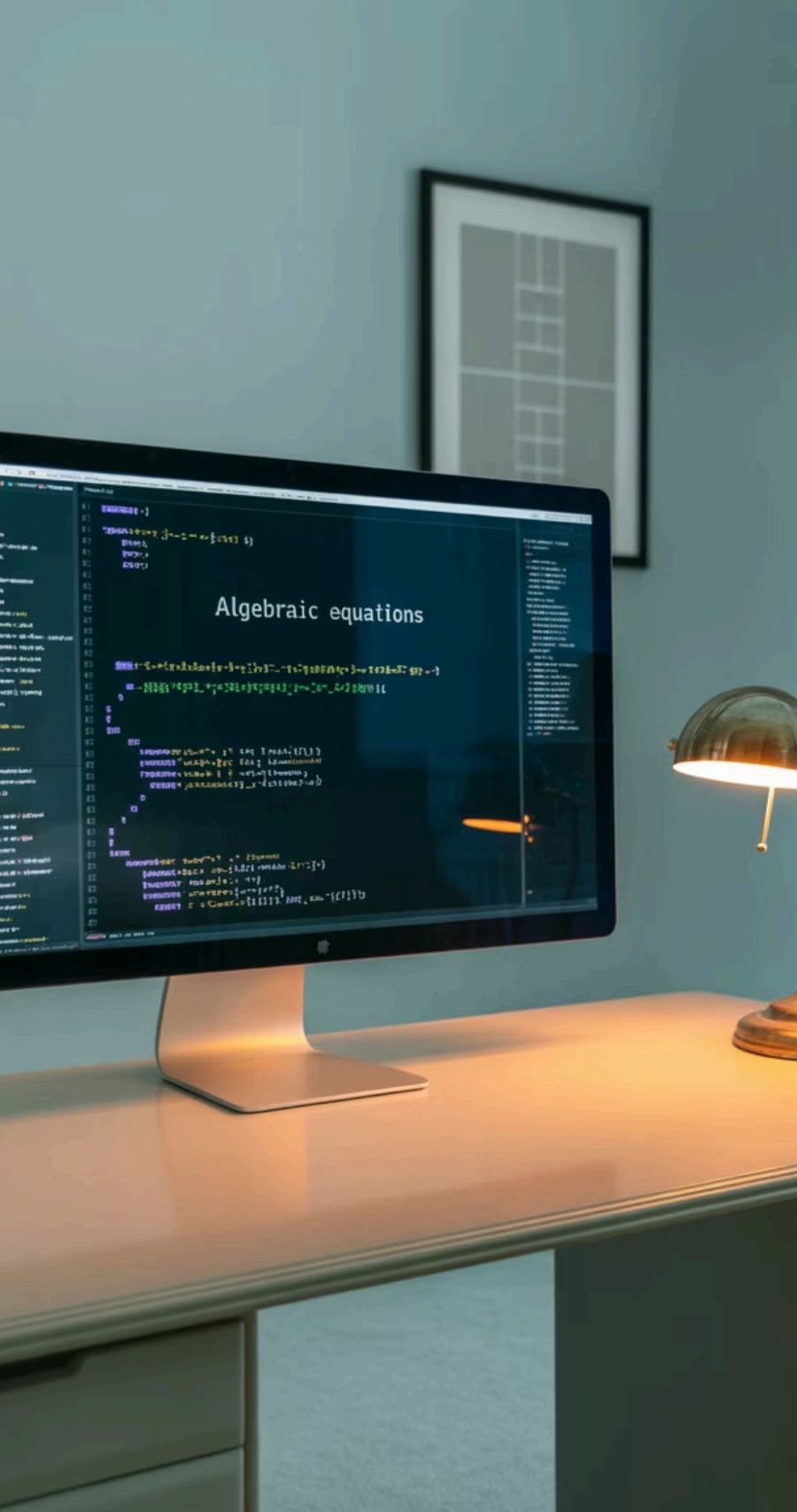
Conecta o usuário aos algoritmos avançados de otimização sem necessidade de conhecimento técnico profundo



Ferramenta Versátil

Capaz de resolver problemas lineares, não-lineares, inteiros e mistos em um único ambiente

O GAMS se distingue por permitir que profissionais concentrem-se na modelagem do problema, sem se preocupar excessivamente com detalhes de implementação algorítmica. Esta separação entre a definição do problema e sua solução computacional representa um avanço significativo na democratização das técnicas de otimização.



Vantagens do GAMS

Independência

Separação clara entre a formulação do modelo e os métodos computacionais utilizados para resolvê-lo, permitindo fácil troca de solvers sem alterar o modelo.

Flexibilidade

Facilidade para construir, modificar e expandir modelos existentes, com mínimo esforço de reprogramação e máxima clareza na estrutura do problema.

Clareza Matemática

Notação próxima da álgebra convencional, facilitando a compreensão e validação do modelo por especialistas do domínio não familiarizados com programação.

Portabilidade

Modelos desenvolvidos em GAMS podem ser executados em diferentes sistemas operacionais e ambientes computacionais sem necessidade de adaptações significativas.

Estas vantagens tornam o GAMS particularmente atraente para projetos de grande escala, especialmente aqueles que requerem frequentes modificações ou que serão mantidos por diferentes equipes ao longo do tempo. A clareza e modularidade do código GAMS facilita a colaboração e o desenvolvimento iterativo.

Para quem é o GAMS?



Pesquisadores

Especialistas em otimização e pesquisa operacional que desenvolvem e aplicam modelos matemáticos avançados para resolver problemas complexos em suas áreas de estudo.



Engenheiros

Profissionais de engenharia que buscam otimizar processos industriais, sistemas de produção, redes de distribuição e outros sistemas técnicos complexos.



Economistas

Analistas econômicos e financeiros que utilizam modelagem matemática para prever tendências, otimizar investimentos e avaliar políticas econômicas.



Gestores Logísticos

Responsáveis por cadeias de suprimentos que precisam otimizar rotas, estoques, localização de instalações e outros aspectos logísticos.

O GAMS se adapta às necessidades de diferentes perfis profissionais, desde acadêmicos desenvolvendo modelos teóricos até praticantes da indústria implementando soluções em ambientes operacionais reais. Sua versatilidade o torna uma ferramenta valiosa em múltiplos setores da economia.

Histórico e Evolução

Década de 1970

Desenvolvimento inicial no Banco Mundial para análise econômica, buscando uma linguagem que facilitasse a formulação de modelos complexos.

1

2

1987

Lançamento da primeira versão comercial do GAMS, marcando sua transição de uma ferramenta interna para um produto disponível ao mercado.

1990-2000

Expansão das capacidades, incorporação de novos solvers e evolução para suportar diferentes classes de problemas matemáticos.

3

4

2000-Presente

Modernização da interface, integração com outras linguagens, desenvolvimento de recursos avançados e expansão para novas áreas de aplicação.

A trajetória do GAMS reflete a própria evolução da pesquisa operacional e da computação aplicada à otimização. De suas origens modestas como ferramenta interna, o sistema cresceu para se tornar uma referência mundial, adaptando-se constantemente às novas demandas e possibilidades tecnológicas.

Origens do GAMS



Concepção

Idealizado por Alex Meeraus para resolver problemas econômicos complexos no Banco Mundial



Desenvolvimento

Criado para facilitar a formulação matemática de problemas em larga escala



Comercialização

Primeira versão comercial lançada em 1987, expandindo o acesso à ferramenta

O nascimento do GAMS está intimamente ligado às necessidades práticas dos economistas do Banco Mundial, que enfrentavam o desafio de formular e resolver modelos econômicos cada vez mais complexos. A visão de Alex Meeraus era criar uma linguagem que permitisse expressar esses modelos de forma natural e matemática, sem se perder em detalhes de programação.

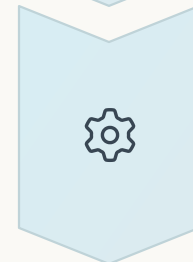
Esta origem explica muitas das características que tornaram o GAMS bem-sucedido: seu foco na clareza matemática, na separação entre dados e modelo, e na capacidade de expressar problemas complexos de forma concisa e compreensível.

Evolução Tecnológica



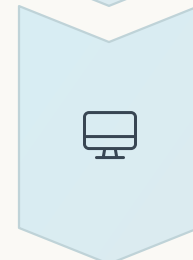
Capacidade Computacional

Aumento exponencial do poder de processamento permitindo resolver problemas cada vez maiores



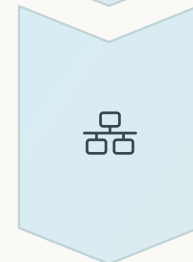
Algoritmos Avançados

Incorporação de solvers cada vez mais sofisticados para diferentes classes de problemas



Interface Gráfica

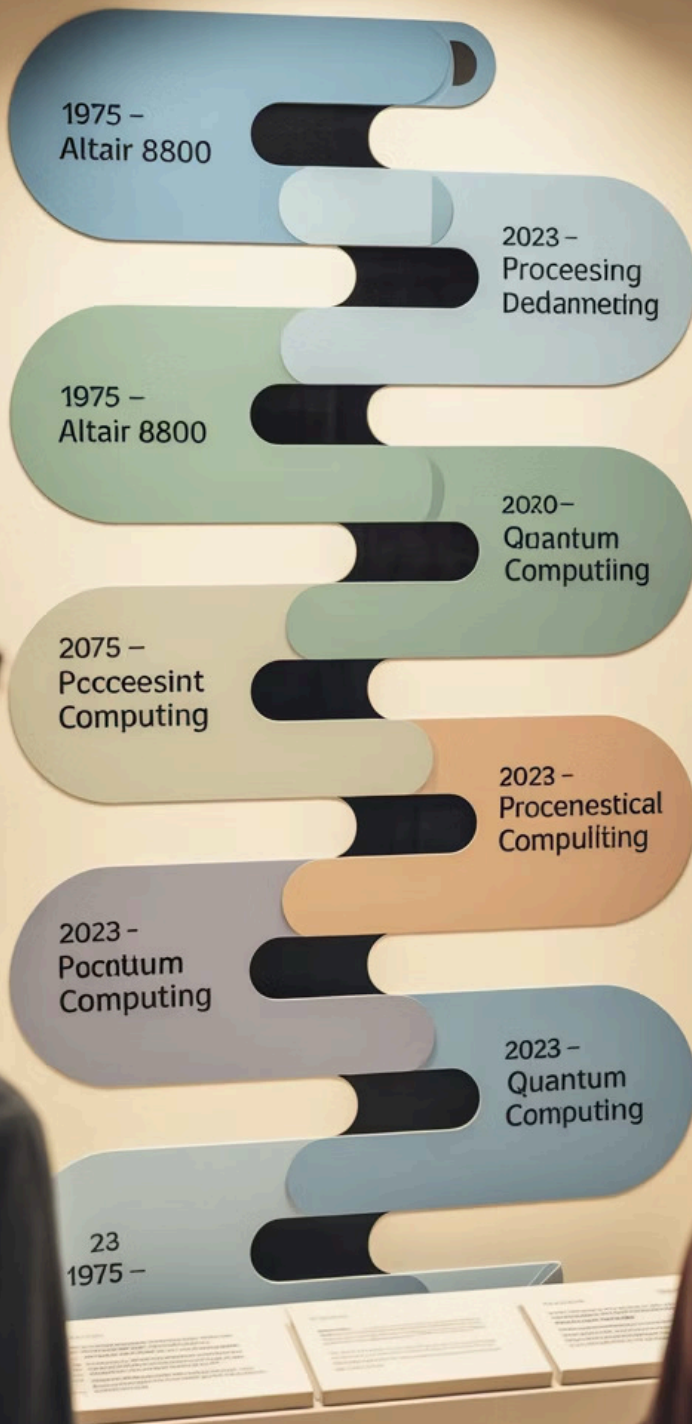
Desenvolvimento do GAMS IDE e posteriormente do GAMS Studio para melhor experiência do usuário



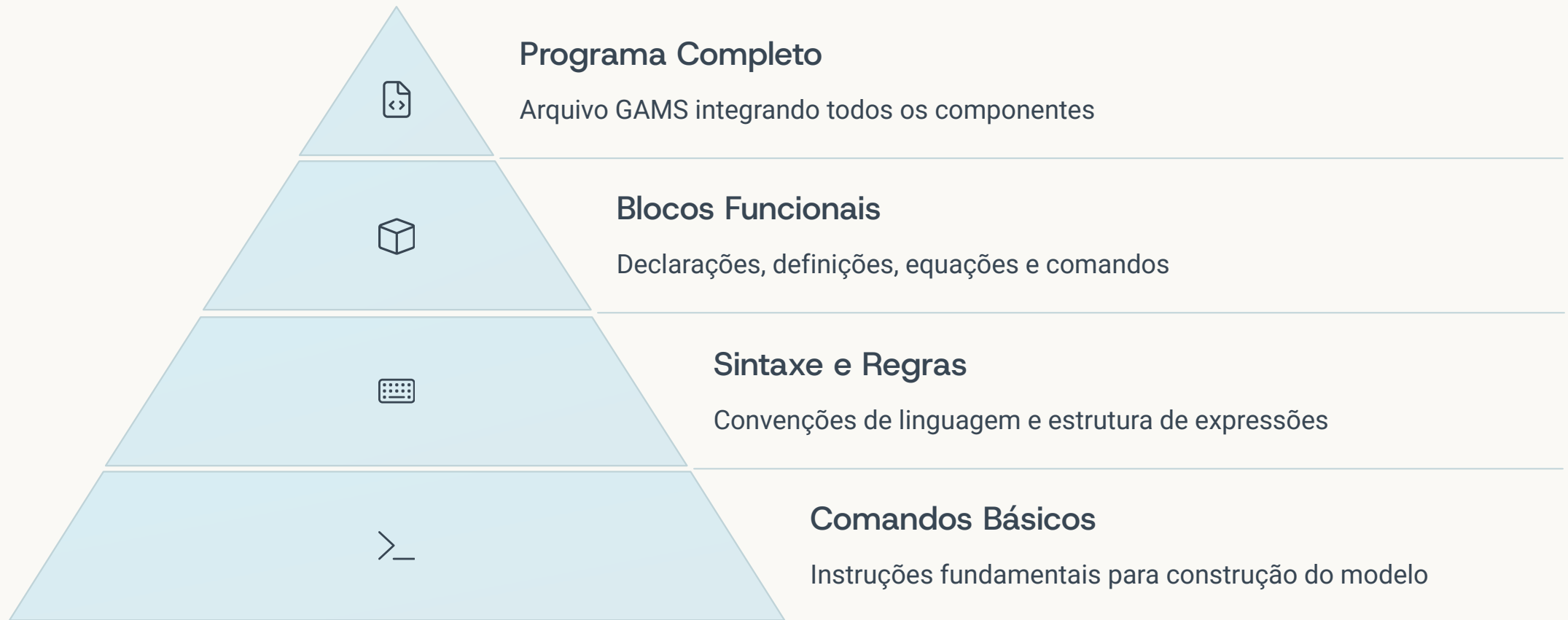
Integração

Conexão com outras linguagens como Python, R e sistemas de banco de dados

A evolução do GAMS acompanhou os avanços da ciência da computação e da pesquisa operacional, incorporando novos algoritmos e aproveitando o crescente poder computacional disponível. Este desenvolvimento contínuo garantiu que o sistema permanecesse relevante mesmo com o surgimento de novas ferramentas e linguagens concorrentes.



Estrutura Básica do GAMS



A estrutura de um programa GAMS segue uma organização lógica que reflete o processo de modelagem matemática: primeiro definimos os dados e parâmetros do problema, depois declaramos as variáveis de decisão, formulamos as equações que representam o modelo matemático e, finalmente, especificamos como o problema deve ser resolvido.

Esta organização facilita a compreensão do modelo mesmo para quem não está familiarizado com o código específico, pois segue uma progressão natural do pensamento matemático aplicado à otimização.

Estrutura de um Modelo GAMS

Declaração de Conjuntos (Sets)

Definição dos índices fundamentais que estruturam o modelo, como produtos, períodos de tempo, localizações ou quaisquer conjuntos de elementos que serão referenciados nas equações.

Definição de Dados (Parameters, Tables, Scalars)

Especificação dos dados de entrada que parametrizam o modelo, podendo ser valores constantes (Scalars), dados indexados por conjuntos (Parameters) ou dados em formato tabular (Tables).

Declaração de Variáveis (Variables)

Definição das incógnitas do problema, aquilo que se deseja determinar através da otimização, incluindo seus tipos (contínuas, inteiras, binárias) e eventuais limites.

Formulação de Equações (Equations)

Expressão das relações matemáticas entre variáveis e parâmetros, incluindo a função objetivo e as restrições que definem o espaço de soluções viáveis.

Definição e Solução do Modelo (Model, Solve)

Agrupamento das equações em um modelo formal e comando para iniciar o processo de otimização com o solver adequado ao tipo de problema.

Sets (Conjuntos)

Definição e Importância

Sets (conjuntos) são os índices fundamentais do modelo matemático, que permitem generalizar a formulação para múltiplos elementos similares. Eles formam a estrutura básica sobre a qual todo o modelo é construído.

Ao definir adequadamente os conjuntos, tornamos o modelo escalável e capaz de lidar com problemas de diferentes dimensões sem alterar sua estrutura fundamental.

A correta definição dos conjuntos é crucial para a elegância e eficiência do modelo. Conjuntos bem estruturados permitem expressar problemas complexos de forma concisa e facilitar modificações futuras, como a inclusão de novos produtos ou períodos sem necessidade de reescrever equações.

Exemplos Práticos

```
Set i 'produtos' / p1*p10 /;  
Set t 'períodos' / jan, fev, mar /;  
Set p 'plantas' / SP, MG, RJ /;
```

```
* Conjunto multidimensional  
Set link(i,j) 'conexões válidas';
```

No exemplo acima, definimos conjuntos para produtos, períodos de tempo e plantas industriais. O conjunto "link" é multidimensional, estabelecendo relações entre elementos de dois conjuntos diferentes.

Dados no GAMS



Parameters

Dados parametrizados por conjuntos, como custos de produção para cada produto ou demanda para cada período.



Scalars

Valores constantes únicos utilizados globalmente no modelo, como taxas de juros ou limites de capacidade total.



Tables

Dados organizados em formato matricial, ideais para representar informações que dependem de dois ou mais índices simultaneamente.



Fontes Externas

Possibilidade de importar dados de arquivos CSV, Excel, bancos de dados ou outras fontes externas ao código GAMS.

O GAMS oferece grande flexibilidade na entrada e manipulação de dados, permitindo que modelos sejam alimentados com informações de diversas fontes. Esta separação entre dados e estrutura do modelo é uma das grandes vantagens da modelagem algébrica, facilitando a atualização e manutenção de sistemas de otimização em ambientes dinâmicos.

Variáveis

Tipo	Descrição	Exemplo de Declaração
free	Variáveis sem restrição de sinal	Variables x 'variável livre';
positive	Variáveis não-negativas	Positive Variables p 'produção';
negative	Variáveis não-positivas	Negative Variables d 'déficit';
binary	Variáveis com valores 0 ou 1	Binary Variables y 'decisão sim/não';
integer	Variáveis de valores inteiros	Integer Variables z 'quantidade';

As variáveis representam as incógnitas do problema de otimização - são os valores que queremos determinar para atingir nosso objetivo. Em GAMS, podemos definir diferentes tipos de variáveis conforme a natureza do problema, estabelecer limites para seus valores e até mesmo inicializá-las com valores estimados para auxiliar na convergência de algoritmos não-lineares.

A correta definição do domínio das variáveis é essencial para a precisão do modelo e para a eficiência computacional na busca pela solução ótima.

Equações

Componentes Essenciais

As equações em GAMS expressam as relações matemáticas entre variáveis e parâmetros, formalizando tanto a função objetivo quanto as restrições do problema. Sua sintaxe é próxima da notação matemática tradicional, facilitando a tradução de modelos teóricos para código executável.

A declaração de equações segue duas etapas: primeiro declaramos o nome e o domínio das equações, depois definimos sua expressão matemática específica.

Exemplo de Código

```
* Declaração
Equations
obj    'função objetivo'
demand(j) 'atendimento da demanda'
capacity(i) 'limite de capacidade';

* Definição
obj..  z =e= sum((i,j), c(i,j)*x(i,j));

demand(j)..  sum(i, x(i,j)) =g= d(j);

capacity(i)..  sum(j, x(i,j)) =l= cap(i);
```

As equações podem utilizar operadores relacionais específicos do GAMS: "=e=" para igualdade, "=l=" para menor ou igual, "=g=" para maior ou igual. A indexação utilizando conjuntos permite expressar de forma concisa um grande número de restrições similares, tornando o modelo mais compacto e fácil de manter.

Modelo e Solução

Declaração do Modelo

Agrupamento das equações relevantes em um modelo coeso, definindo quais relações matemáticas serão consideradas no processo de otimização.

```
Model transporte /all/;
```

Especificação do Tipo

Identificação da classe matemática do problema (linear, não-linear, inteiro, etc.) para seleção do algoritmo apropriado.

```
Model producao /obj,demanda,capacidade/;
```

Comando de Solução

Instrução para iniciar o processo de otimização, especificando o solver e o objetivo (minimização ou maximização).

```
Solve transporte using lp  
minimizing custo;
```

Análise de Resultados

Acesso aos valores ótimos das variáveis, valor da função objetivo e informações adicionais sobre a solução.

```
Display x.l, z.l, demand.m;
```

O processo de solução em GAMS é surpreendentemente simples do ponto de vista do usuário, abstraindo a complexidade dos algoritmos subjacentes. Esta facilidade permite que especialistas do domínio se concentrem na modelagem adequada do problema, deixando os detalhes computacionais para o sistema.

Componentes da Linguagem



A linguagem GAMS combina elementos de programação tradicional com notação matemática, criando um ambiente expressivo especialmente adaptado para modelagem algébrica. Esta combinação permite representar problemas complexos de forma concisa e intuitiva.

Sintaxe Básica

Regras Fundamentais

A sintaxe do GAMS segue algumas convenções básicas que facilitam a leitura e escrita de modelos. Os comandos são concluídos com ponto-e-vírgula, comentários são precedidos por asterisco, e a linguagem não é sensível a maiúsculas e minúsculas.

A indentação e organização do código não afetam sua execução, mas são práticas recomendadas para melhorar a legibilidade e manutenção do modelo.

Exemplos de Código

```
* Isto é um comentário
Set i 'produtos' / p1*p5 /;

* Declaração e atribuição
Parameter c(i) 'custos';
c(i) = 10;
c('p1') = 15;

* Expressão condicional
c(i)$(ord(i) > 3) = 20;

* Exibição de resultados
Display c;
```

A clareza e consistência na estruturação do código GAMS são essenciais, especialmente em modelos grandes e complexos. Boas práticas incluem nomear elementos de forma descritiva, usar comentários para documentar o raciocínio por trás das escolhas de modelagem, e organizar o código em seções lógicas que reflitam a estrutura do problema.

Operadores e Expressões

Operadores Matemáticos

O GAMS suporta os operadores aritméticos padrão como adição (+), subtração (-), multiplicação (*), divisão (/) e potenciação (^). Estes podem ser combinados para formar expressões complexas seguindo as regras de precedência matemática convencional.

Operadores Relacionais

Expressões de restrições utilizam operadores relacionais especiais como `=e=` (igual), `=l=` (menor ou igual), `=g=` (maior ou igual), que estabelecem as relações entre os lados esquerdo e direito das equações do modelo.

Operadores Lógicos

Para construções condicionais, o GAMS oferece operadores como `and`, `or`, `not` e `xor`, que podem ser usados em conjunto com o operador `$` para controlar quais elementos são incluídos em determinados cálculos ou restrições.

Expressões Indexadas

Uma das características mais poderosas do GAMS é a capacidade de criar expressões indexadas usando conjuntos, como `sum(i, x(i))` para somar sobre todos os elementos de um conjunto, ou `prod(t, (1+r(t)))` para calcular produtos.

O poder expressivo do GAMS vem da combinação destes operadores com a indexação por conjuntos, permitindo representar de forma concisa relações matemáticas que, em outras linguagens, exigiriam muito mais código e estruturas de controle explícitas.

Funções Especiais



Funções Matemáticas

O GAMS oferece um conjunto completo de funções matemáticas como exponencial (exp), logaritmo (log), valor absoluto (abs), raiz quadrada (sqrt), trigonométricas (sin, cos) e muitas outras, permitindo expressar relações não-lineares complexas.



Funções para Conjuntos

Funções como card (cardinalidade), ord (ordem), e operadores de manipulação de conjuntos permitem trabalhar dinamicamente com a estrutura dos conjuntos, facilitando a construção de modelos mais flexíveis.



Funções de Agregação

Para operações em conjuntos, existem funções como sum (somatório), prod (produtório), smin/smax (mínimo/máximo de um conjunto) que simplificam a expressão de agregações comuns em modelagem matemática.



Funções Probabilísticas

Para modelagem estocástica, o GAMS inclui funções de distribuição de probabilidade como normal, uniform, binomial, permitindo incorporar incertezas de forma sistemática nos modelos.

Estas funções especiais ampliam significativamente o poder de modelagem do GAMS, possibilitando a representação de fenômenos complexos e não-lineares que são comuns em problemas reais de otimização. A disponibilidade destas funções integradas elimina a necessidade de implementações manuais, reduzindo erros e aumentando a produtividade.

Estruturas de Controle



Loops

As estruturas de repetição como loop, for e repeat permitem executar blocos de código múltiplas vezes, facilitando operações iterativas e a construção de algoritmos complexos dentro do ambiente GAMS.



Condicionais

Mecanismos como if-then-else e o operador \$ permitem execução condicional de código, possibilitando lógicas de decisão sofisticadas e tratamento de casos especiais no modelo.



Conjuntos Dinâmicos

O GAMS permite a manipulação dinâmica de conjuntos durante a execução, com operações para adicionar, remover ou modificar elementos, criando estruturas adaptativas.

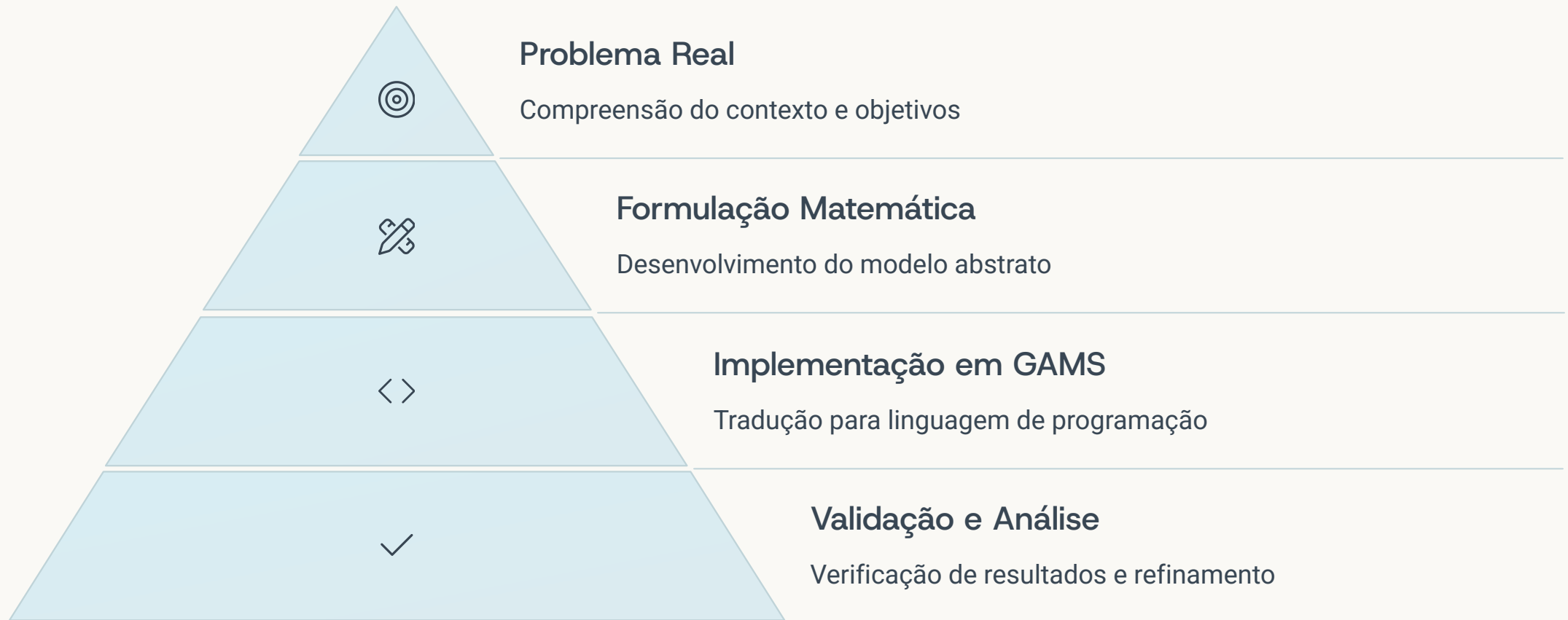


Modularização

Através de recursos como include files e a possibilidade de criar blocos reutilizáveis de código, o GAMS suporta práticas de modularização que facilitam o desenvolvimento de modelos complexos.

Embora o GAMS seja primariamente uma linguagem declarativa de modelagem, estas estruturas de controle adicionam capacidades procedurais que são essenciais para implementar algoritmos complexos, realizar análises de sensibilidade automáticas, ou construir interfaces com outros sistemas computacionais.

Modelagem Matemática no GAMS



A modelagem matemática no GAMS segue um processo estruturado que começa com a compreensão profunda do problema real, passa pela sua abstração em termos matemáticos, e culmina na implementação em código GAMS. Este processo não é linear, mas iterativo, com frequentes retornos para refinar o modelo à medida que novos insights são obtidos.

O grande diferencial do GAMS é permitir que a implementação em código seja extremamente próxima da formulação matemática abstrata, reduzindo erros de tradução e facilitando a comunicação entre especialistas do domínio e programadores.

Problemas de Programação Linear

Características Fundamentais

A programação linear (PL) é caracterizada por funções objetivo e restrições lineares nas variáveis de decisão. Esta classe de problemas tem propriedades matemáticas especiais que permitem algoritmos de solução extremamente eficientes, mesmo para modelos de grande escala.

Em GAMS, problemas lineares são resolvidos usando solvers especializados como CPLEX, GUROBI ou CBC, que implementam variantes avançadas do método Simplex ou algoritmos de pontos interiores.

Exemplo em GAMS

```
Variables
  x(i,j) 'quantidade transportada'
  z      'custo total';
Positive Variables x;

Equations
  objetivo 'função objetivo'
  oferta(i) 'restrição de oferta'
  demanda(j) 'restrição de demanda';

objetivo.. z =e= sum((i,j), c(i,j)*x(i,j));
oferta(i).. sum(j, x(i,j)) =l= a(i);
demanda(j).. sum(i, x(i,j)) =g= b(j);

Model transporte /all/;
Solve transporte using lp
  minimizing z;
```

A programação linear é frequentemente o ponto de partida para modelos mais complexos, e muitos problemas não-lineares podem ser aproximados ou reformulados como lineares para aproveitar a eficiência computacional dos algoritmos de PL.

Programação Inteira e Mista



Variáveis Discretas

A programação inteira introduz variáveis que só podem assumir valores inteiros, representando quantidades indivisíveis como número de máquinas, pessoas ou projetos.



Decisões Binárias

Variáveis binárias (0-1) são essenciais para modelar decisões do tipo sim/não, como a seleção de projetos, abertura de instalações ou ativação de processos.



Scheduling

Problemas de sequenciamento de tarefas, alocação de recursos e programação de produção frequentemente requerem variáveis inteiras para capturar aspectos discretos do sistema.



Complexidade Computacional

A introdução de variáveis inteiras aumenta dramaticamente a dificuldade computacional, exigindo algoritmos especializados como Branch-and-Bound e técnicas avançadas de cortes.

Em GAMS, problemas de programação inteira mista (MIP) são declarados usando as palavras-chave `binary variables` ou `integer variables`, e resolvidos com solvers especializados como CPLEX, GUROBI ou SCIP. A eficiência na formulação de modelos MIP é crucial, pois pequenas diferenças na representação matemática podem ter impacto enorme no tempo de solução.

Programação Não-Linear



Não-Linearidades

Funções objetivo ou restrições com termos quadráticos, exponenciais, logarítmicos ou outras relações não-lineares



Desafios

Múltiplos ótimos locais, convergência dependente do ponto inicial, dificuldades computacionais



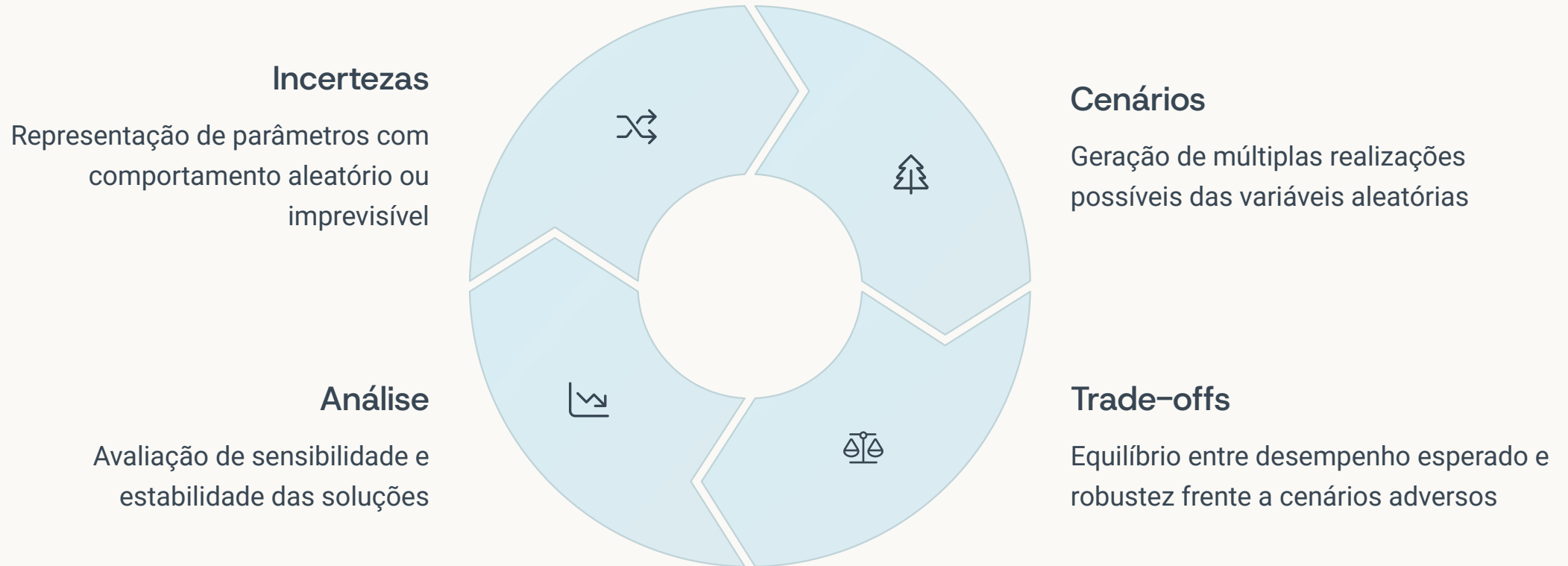
Técnicas

Inicialização cuidadosa de variáveis, scaling dos dados, reformulações para melhorar propriedades numéricas

A programação não-linear (NLP) lida com problemas onde as relações entre variáveis não são lineares, o que é comum em muitas aplicações práticas como engenharia química, finanças e ciência de dados. O GAMS suporta uma ampla gama de funções não-lineares e possui solvers especializados como CONOPT, IPOPT e KNITRO para resolver estes problemas.

Em modelos não-lineares, a qualidade da solução pode depender significativamente dos valores iniciais das variáveis e da formulação específica do problema. O GAMS oferece recursos para especificar pontos iniciais e controlar parâmetros dos algoritmos para melhorar a convergência e a robustez.

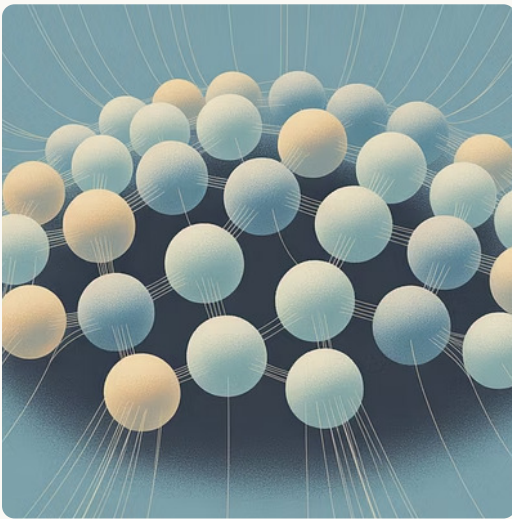
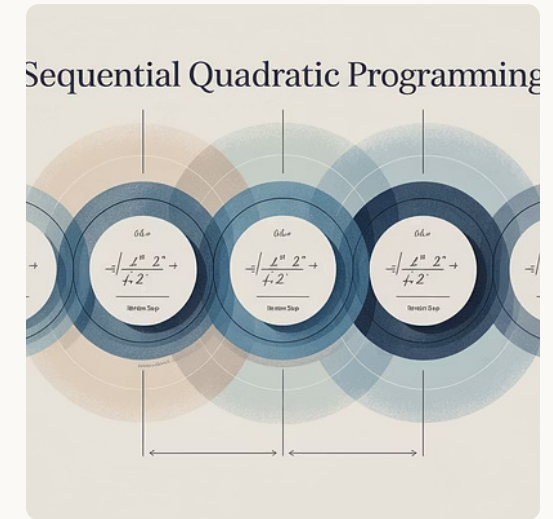
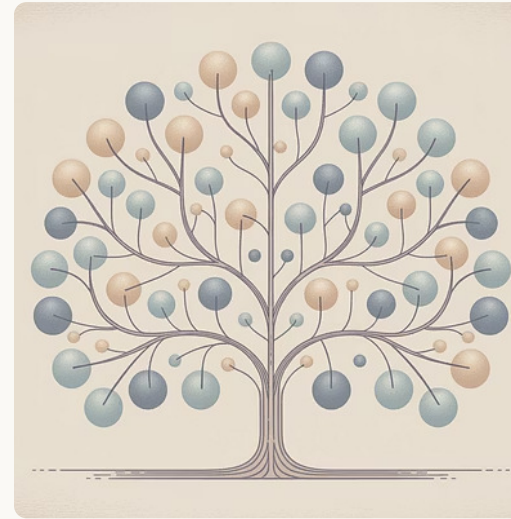
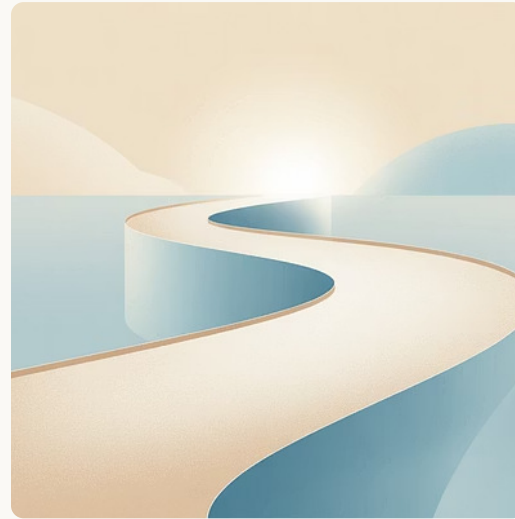
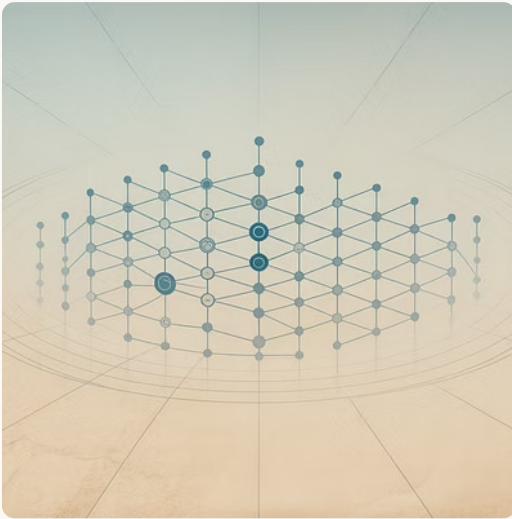
Modelos Estocásticos



A modelagem estocástica reconhece que muitos parâmetros em problemas reais não são determinísticos, mas sujeitos a variabilidade e incerteza. O GAMS permite incorporar esta aleatoriedade através de técnicas como programação estocástica em dois estágios, onde decisões iniciais são tomadas antes de conhecer o valor exato dos parâmetros incertos.

Estes modelos são particularmente relevantes em áreas como planejamento financeiro, gestão de recursos hídricos, planejamento energético e logística, onde ignorar a incerteza pode levar a decisões sub-ótimas ou mesmo inviáveis na prática.

Solvers e Algoritmos



O GAMS funciona como uma ponte entre o modelo matemático e os algoritmos especializados de otimização. A plataforma oferece acesso a dezenas de solvers diferentes, cada um com características e pontos fortes específicos. Esta separação entre modelagem e solução é uma das grandes vantagens do sistema, permitindo experimentar diferentes algoritmos sem alterar a formulação do problema.

A escolha do solver adequado depende da classe matemática do problema (LP, MIP, NLP, etc.), do tamanho e estrutura específica da instância, e de considerações práticas como licenciamento e requisitos de precisão ou tempo de solução.

Solvers para Programação Linear



CPLEX

Desenvolvido pela IBM, é considerado um dos solvers mais eficientes para problemas lineares de grande escala, implementando algoritmos de Simplex dual e primal, além de métodos de pontos interiores altamente otimizados.



GUROBI

Um solver mais recente mas extremamente competitivo, frequentemente estabelecendo novos benchmarks de desempenho para problemas lineares e mistos, com implementações modernas que aproveitam arquiteturas multicore.



XPRESS

Outro solver comercial de alto desempenho, com ênfase em aplicações industriais e ferramentas avançadas para problemas de grande porte, incluindo técnicas sofisticadas de pré-processamento e cortes.



CBC

Uma alternativa de código aberto que, embora geralmente não tenha o mesmo desempenho dos solvers comerciais para problemas muito grandes, oferece excelente custo-benefício para muitas aplicações práticas.

A programação linear é uma das áreas mais maduras da otimização, com algoritmos extremamente eficientes capazes de resolver problemas com milhões de variáveis e restrições. O GAMS permite escolher o solver mais adequado para cada situação e configurar seus parâmetros para máximo desempenho.

Solvers para Programação Inteira/Mista

1

Branch-and-Bound

Algoritmo fundamental que divide o espaço de busca em subproblemas (branching) e usa limites (bounds) para podar regiões não promissoras

C

Planos de Corte

Técnicas que adicionam restrições para "cortar" partes do poliedro de soluções contínuas que não contêm pontos inteiros viáveis



Geração de Colunas

Método para problemas com número muito grande de variáveis, gerando apenas aquelas potencialmente úteis para a solução ótima



Heurísticas

Algoritmos que buscam rapidamente soluções viáveis de boa qualidade, complementando métodos exatos para problemas difíceis

A programação inteira mista (MIP) é computacionalmente desafiadora, frequentemente levando a problemas NP-difíceis. Solvers modernos como CPLEX, GUROBI e SCIP combinam múltiplas técnicas algorítmicas em frameworks sofisticados, incluindo pré-processamento avançado, estratégias de branching adaptativas e técnicas de corte específicas para diferentes estruturas de problema.

Solvers Não-Lineares

Solver	Método Principal	Características Distintivas
CONOPT	Gradiente Reduzido Generalizado (GRG)	Excelente para modelos com restrições não-lineares complexas
IPOPT	Pontos Interiores	Código aberto, robusto para problemas de grande escala
KNITRO	Híbrido (Pontos Interiores/SQP/Ativa)	Múltiplos algoritmos disponíveis, adaptativo
SNOPT	Programação Quadrática Sequencial (SQP)	Eficiente para problemas com muitas restrições
BARON	Branch-and-Reduce	Garantia de otimalidade global para certos problemas

A otimização não-linear apresenta desafios como múltiplos ótimos locais, sensibilidade às condições iniciais e problemas de escala numérica. O GAMS oferece uma variedade de solvers especializados, cada um com pontos fortes para diferentes tipos de não-linearidades e estruturas de problema.

Para problemas não-lineares difíceis, frequentemente é útil testar diferentes solvers e configurações, pois o desempenho pode variar significativamente dependendo das características específicas da instância.

Configuração de Solvers

Parâmetros Essenciais

O GAMS permite configurar dezenas de parâmetros para cada solver, controlando aspectos como:

- Tolerâncias de otimalidade e viabilidade
- Limites de tempo e iterações
- Estratégias de branching e corte
- Algoritmos de pré-processamento
- Utilização de múltiplos núcleos/threads
- Persistência de informações entre execuções

Exemplo de Configuração

* Configuração básica do CPLEX

Option LP = CPLEX;

Option MIP = CPLEX;

Option OPTCR = 0.01; /* 1% de gap */

Option RESLIM = 3600; /* 1 hora */

* Parâmetros específicos do solver

modelo.optfile = 1;

\$onecho > cplex.opt

threads 4

mipemphasis 1

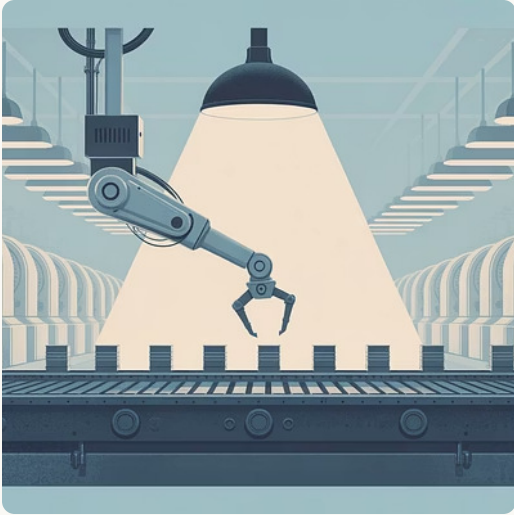
preprocessing dual

\$offecho

Solve modelo using mip minimizing z;

A configuração adequada dos solvers pode fazer uma diferença dramática no desempenho, especialmente para problemas grandes ou difíceis. Usuários avançados do GAMS frequentemente desenvolvem estratégias sofisticadas de parametrização, adaptando as configurações às características específicas de cada classe de problema.

Aplicações Práticas



O GAMS encontra aplicações em praticamente todos os setores econômicos onde decisões complexas precisam ser tomadas considerando múltiplas variáveis e restrições. Sua capacidade de modelar problemas de grande escala e integrar-se a sistemas existentes o torna uma ferramenta valiosa tanto para aplicações acadêmicas quanto industriais.

As próximas seções explorarão algumas das principais áreas de aplicação, destacando como o GAMS é utilizado para resolver problemas reais e gerar valor através da otimização matemática.

Aplicações em Engenharia

Planejamento de Produção

Otimização do mix de produtos, dimensionamento de lotes, sequenciamento de tarefas e utilização de recursos produtivos, considerando restrições de capacidade, prazos e custos variáveis.

Processos Químicos

Modelagem e otimização de reatores, colunas de destilação, sistemas de refrigeração e processos contínuos, equilibrando rendimento, qualidade, consumo energético e impacto ambiental.

Design de Sistemas

Otimização da topologia de redes de comunicação, sistemas hidráulicos, estruturas mecânicas e circuitos eletrônicos, maximizando desempenho e minimizando custos.

Manutenção

Planejamento de atividades de manutenção preventiva e corretiva, otimizando intervalos de intervenção e alocação de equipes para maximizar disponibilidade e vida útil dos equipamentos.

Na engenharia, o GAMS é particularmente valioso por sua capacidade de lidar com modelos não-lineares e de grande escala que surgem naturalmente em muitos problemas físicos e processos industriais. A facilidade de integração com simuladores e sistemas de controle também facilita a implementação de soluções em ambientes operacionais reais.

Aplicações Econômicas



Equilíbrio Econômico

Modelos de equilíbrio geral computável (CGE) para análise de políticas e impactos setoriais



Finanças

Otimização de portfólios, precificação de derivativos e gerenciamento de risco



Tributação

Análise de sistemas tributários e seus efeitos em diferentes setores econômicos



Comércio Internacional

Modelagem de fluxos comerciais, tarifas e acordos entre países

O GAMS tem raízes históricas na economia, tendo sido inicialmente desenvolvido no Banco Mundial para análise de políticas econômicas. Esta herança se reflete em sua ampla adoção para modelagem econômica em instituições acadêmicas, governamentais e financeiras ao redor do mundo.

Modelos econômicos em GAMS frequentemente combinam dados estatísticos, teorias econômicas e relações comportamentais em estruturas complexas que permitem simular cenários, avaliar políticas e prever tendências de mercado com base em fundamentos matemáticos sólidos.

Aplicações em Logística

Redes de Distribuição

Otimização da localização de centros de distribuição, alocação de clientes e dimensionamento de capacidades de armazenagem para minimizar custos logísticos totais enquanto mantém níveis de serviço adequados.

Transporte

Determinação de rotas ótimas, seleção de modais, consolidação de cargas e programação de entregas, considerando janelas de tempo, restrições de capacidade e custos variáveis por distância e volume.

Gestão de Estoques

Definição de políticas de estoque em sistemas multi-echelon, balanceando custos de manutenção, pedidos e falta de produtos em cadeias de suprimento complexas com demanda variável e lead times incertos.

Planejamento Integrado

Coordenação entre produção, estoque e distribuição em modelos integrados de cadeia de suprimentos, otimizando o fluxo de materiais e informações desde fornecedores até clientes finais.

A logística é uma das áreas de aplicação mais tradicionais e bem-sucedidas da otimização matemática. O GAMS oferece recursos ideais para modelar os complexos trade-offs e interrelações em sistemas logísticos, permitindo que empresas reduzam custos operacionais enquanto melhoram seus níveis de serviço ao cliente.

Aplicações em Energia

Planejamento da Expansão

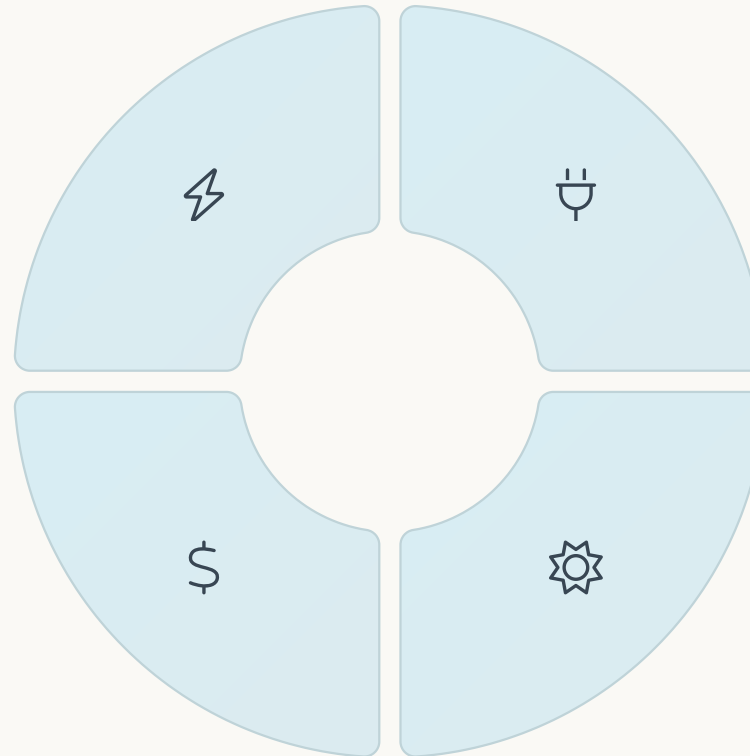
Otimização de investimentos em novas usinas e linhas de transmissão

- Horizonte de longo prazo
- Múltiplas tecnologias
- Restrições ambientais

Mercados de Energia

Modelagem de leilões e formação de preços

- Comportamento estratégico
- Regulação de mercado
- Análise de equilíbrio



Despacho Ótimo

Programação da operação de usinas para atender demanda

- Minimização de custos
- Restrições técnicas
- Segurança do sistema

Integração Renovável

Gerenciamento de fontes intermitentes como solar e eólica

- Previsão de geração
- Armazenamento de energia
- Flexibilidade operacional

O setor energético, com sua complexidade técnica e econômica, representa uma das áreas mais férteis para aplicação do GAMS. Modelos energéticos frequentemente combinam aspectos de engenharia elétrica, economia, meteorologia e política ambiental em estruturas matemáticas sofisticadas que auxiliam no planejamento e operação de sistemas cada vez mais desafiadores.

Exemplos de Implementação



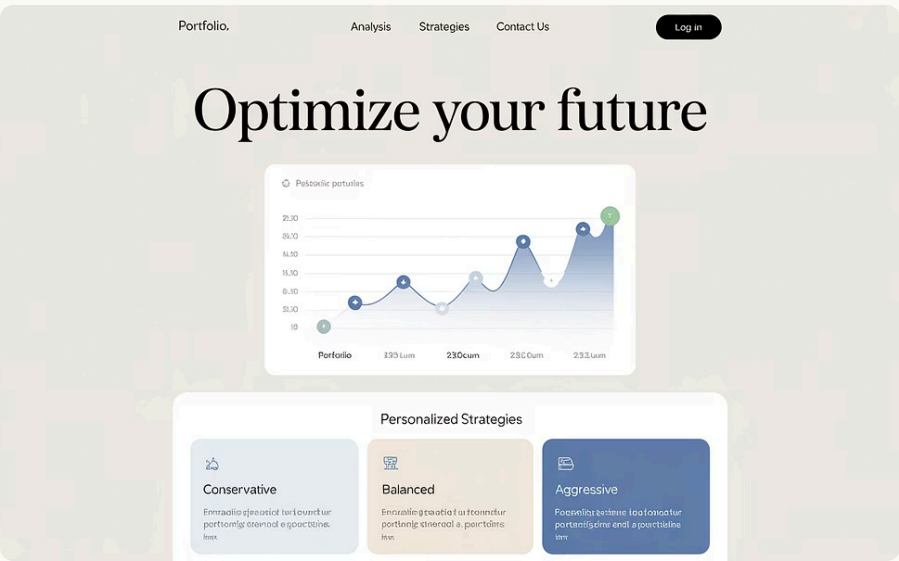
Transporte

Modelos de distribuição otimizada entre origens e destinos, minimizando custos totais de transporte sujeito a restrições de oferta e demanda.



Produção

Planejamento de produção multi-período com restrições de capacidade, setup e balanceamento de estoques para atender demandas flutuantes.



Portfólio

Seleção ótima de ativos financeiros balanceando retorno esperado e risco, considerando diversificação e restrições de investimento.

Nas próximas seções, exploraremos implementações detalhadas destes modelos clássicos em GAMS, destacando as técnicas de modelagem, a estrutura do código e a interpretação dos resultados. Estes exemplos ilustram não apenas a sintaxe da linguagem, mas também o processo de pensamento por trás da tradução de problemas reais para modelos matemáticos formais.

Exemplo: Problema de Transporte

Formulação Matemática

O problema de transporte busca determinar como distribuir produtos de origens (fábricas, depósitos) para destinos (clientes, lojas) minimizando o custo total.

Matematicamente, temos:

- Variáveis: quantidade x_{ij} transportada da origem i ao destino j
- Parâmetros: custo c_{ij} por unidade, oferta a_i nas origens, demanda b_j nos destinos
- Objetivo: minimizar $\sum c_{ij}x_{ij}$
- Restrições: oferta, demanda e não-negatividade

Implementação em GAMS

Sets

```
i 'origens' / o1*o3 /  
j 'destinos' / d1*d5 /;
```

Parameters

```
a(i) 'oferta disponível'  
    / o1 150, o2 175, o3 125 /  
b(j) 'demanda requerida'  
    / d1 80, d2 90, d3 105,  
      d4 100, d5 75 /;
```

Table c(i,j) 'custo de transporte'

	d1	d2	d3	d4	d5
o1	6	8	10	9	7
o2	7	9	8	6	10
o3	9	7	6	8	9

Variables

```
x(i,j) 'quantidade transportada'  
z      'custo total';
```

Positive Variables x;

Equations

```
custo    'função objetivo'  
oferta(i) 'restrição de oferta'  
demanda(j) 'restrição de demanda';
```

```
custo.. z =e= sum((i,j), c(i,j)*x(i,j));  
oferta(i).. sum(j, x(i,j)) =l= a(i);  
demanda(j).. sum(i, x(i,j)) =g= b(j);
```

Model transporte /all/;

Solve transporte using lp minimizing z;

Display x.l, z.l;

Exemplo: Planejamento de Produção



Definição do Problema

Planejamento da produção de múltiplos produtos ao longo de vários períodos, considerando capacidade limitada, custos de setup e estoque, e demanda variável.

2

Modelo GAMS

Implementação com variáveis para produção, estoque e setup, utilizando conjuntos para produtos e períodos, e integrando restrições de balanceamento e capacidade.

3

Análise de Resultados

Interpretação do plano ótimo, identificando padrões de produção, trade-offs entre custos de setup e estoque, e utilização da capacidade produtiva.



Planejamento Rolante

Implementação de horizonte rolante para adaptação do plano conforme novas informações se tornam disponíveis, criando um processo decisório dinâmico.

O planejamento de produção é um dos problemas clássicos em pesquisa operacional, combinando aspectos de programação inteira (para decisões de setup) e contínua (para quantidades produzidas). O GAMS é particularmente adequado para este tipo de problema, permitindo expressar de forma clara as complexas relações temporais entre produção, estoque e demanda.

Exemplo: Otimização de Portfólio



Modelo de Markowitz

Implementação do clássico modelo de média-variância para seleção de ativos, equilibrando retorno esperado e risco medido pela variância ou desvio-padrão do portfólio.



Dados Reais

Utilização de séries históricas de preços para estimar retornos esperados e matriz de covariância, capturando as correlações entre diferentes ativos.



Restrições Práticas

Incorporação de limitações realistas como percentuais mínimos e máximos por ativo, número máximo de ativos selecionados e restrições de liquidez ou setoriais.



Fronteira Eficiente

Geração da fronteira eficiente de Markowitz através de múltiplas otimizações com diferentes níveis de aversão ao risco, visualizando o trade-off risco-retorno.

A otimização de portfólio ilustra perfeitamente o poder do GAMS para problemas quadráticos, onde a função objetivo inclui termos que multiplicam variáveis entre si (neste caso, representando a covariância entre ativos). Este exemplo também demonstra como modelos matemáticos podem incorporar complexas considerações financeiras e comportamentais em um framework de otimização.

Exemplo: Scheduling Job Shop

Definição do Problema

Sequenciamento de múltiplas tarefas em diversas máquinas, respeitando precedências tecnológicas, com objetivo de minimizar o tempo total de conclusão (makespan).

Implementação em GAMS

Codificação do modelo utilizando técnicas de big-M para linearizar restrições disjuntivas, e estruturas de dados eficientes para representar relações de precedência.

1

2

3

4

Formulação Matemática

Representação usando variáveis binárias para decisões de sequenciamento e contínuas para tempos de início, com restrições disjuntivas para evitar sobreposições.

Visualização e Análise

Transformação dos resultados em gráficos de Gantt para visualização do cronograma, análise de gargalos e avaliação de robustez frente a variações de tempo.

O scheduling job shop é um dos problemas mais desafiadores em otimização combinatória, pertencendo à classe NP-difícil. Para instâncias pequenas e médias, o GAMS com solvers MIP pode encontrar soluções ótimas. Para problemas maiores, frequentemente são necessárias heurísticas ou decomposições que podem ser implementadas através de algoritmos customizados em GAMS.

Recursos Avançados

Ferramentas de Desenvolvimento

O GAMS oferece ambientes integrados como o GAMS IDE e o GAMS Studio, com recursos avançados de edição, depuração, visualização e gerenciamento de projetos para facilitar o desenvolvimento de modelos complexos.

Integração Externa

Conexão com linguagens como Python, R, MATLAB e Excel, permitindo combinar o poder de modelagem algébrica do GAMS com ferramentas especializadas para análise de dados, visualização e interfaces com usuário.

Técnicas Avançadas

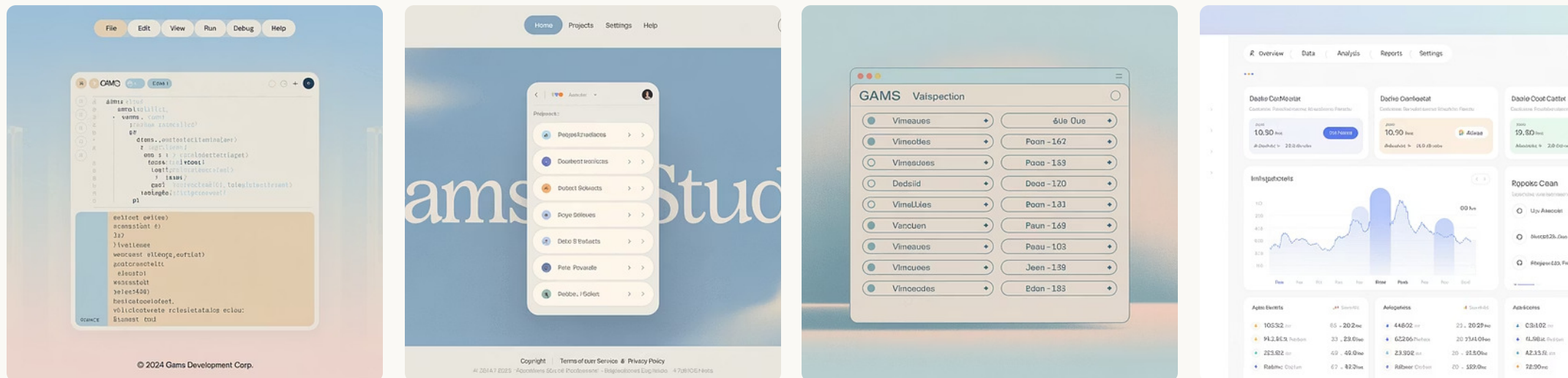
Suporte a métodos sofisticados como decomposição, programação estocástica, otimização robusta e técnicas de paralelização para resolver problemas de grande escala ou com estruturas especiais.

Extensibilidade

Possibilidade de desenvolver solvers customizados, interfaces especializadas e extensões da linguagem através de APIs bem documentadas e exemplos detalhados.

Os recursos avançados do GAMS permitem que usuários experientes extraiam o máximo da plataforma, superando limitações computacionais, integrando-se a ecossistemas de software existentes e implementando técnicas de modelagem inovadoras para problemas especialmente desafiadores.

GAMS IDE e Ferramentas



O ecossistema GAMS inclui ferramentas de desenvolvimento especialmente projetadas para facilitar a criação, depuração e análise de modelos matemáticos. O tradicional GAMS IDE oferece um ambiente comprovado com recursos essenciais, enquanto o mais recente GAMS Studio traz uma interface moderna com suporte aprimorado para projetos complexos.

Estas ferramentas oferecem recursos como sintaxe destacada, navegação inteligente no código, inspeção de variáveis e parâmetros, visualização de resultados e integração com o sistema de arquivos, criando um ambiente produtivo para modeladores matemáticos de todos os níveis de experiência.

Integração com Outras Linguagens



GAMS/Python

Conexão bidirecional permitindo que código Python controle a execução de modelos GAMS e processe seus resultados, aproveitando o rico ecossistema de bibliotecas Python para ciência de dados, aprendizado de máquina e visualização.



GAMS/R

Integração com o ambiente estatístico R, facilitando a análise avançada de dados, modelagem estatística e visualizações sofisticadas em conjunto com a otimização matemática do GAMS.



GAMS/Excel

Conexão direta com planilhas Excel para entrada de dados e saída de resultados, criando interfaces acessíveis para usuários não-técnicos e aproveitando a familiaridade e flexibilidade do Excel.

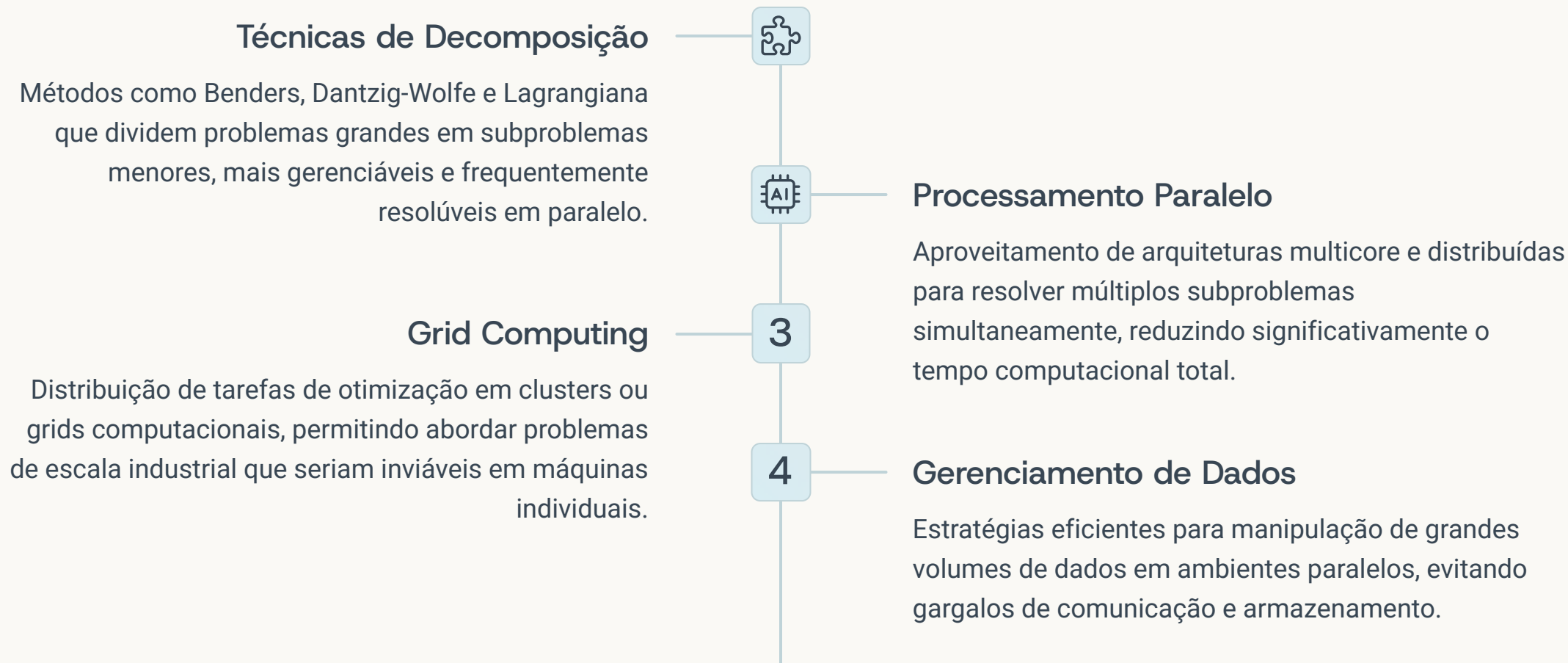


GAMS/Database

Comunicação com diversos sistemas de banco de dados para armazenamento persistente, compartilhamento de dados entre modelos e integração com sistemas corporativos existentes.

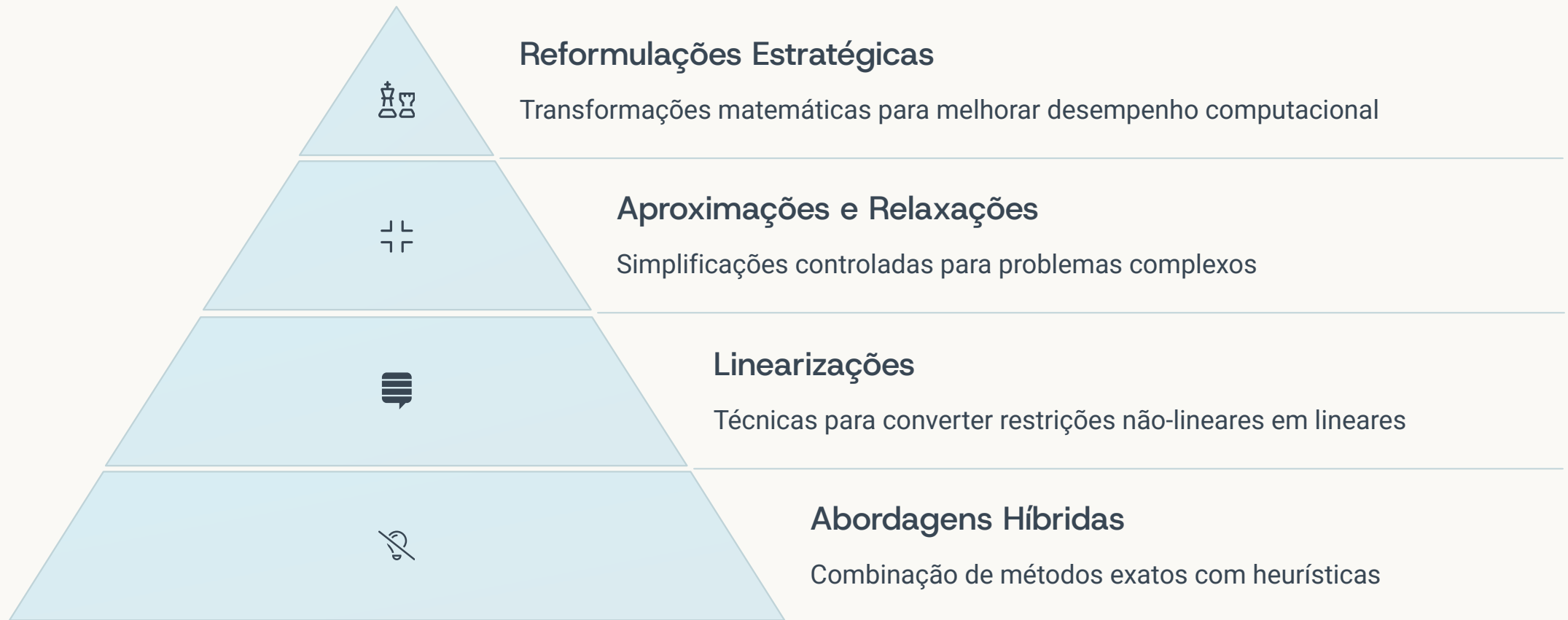
Estas integrações ampliam significativamente o alcance e a aplicabilidade do GAMS, permitindo que ele se torne parte de fluxos de trabalho mais amplos que combinam modelagem matemática com outras técnicas analíticas e sistemas corporativos. As APIs bem documentadas facilitam a criação de aplicações customizadas que encapsulam modelos GAMS em interfaces amigáveis para usuários finais.

Decomposição e Paralelização



Para problemas de grande escala, técnicas de decomposição e paralelização são frequentemente essenciais para obter soluções em tempo razoável. O GAMS oferece suporte a várias abordagens, desde algoritmos de decomposição implementados manualmente até recursos integrados para paralelização em solvers modernos e execução distribuída de múltiplos cenários.

Modelagem Avançada



A modelagem avançada no GAMS vai além da simples tradução de um problema para código, envolvendo a aplicação de técnicas matemáticas sofisticadas para melhorar a tratabilidade computacional sem comprometer a precisão. Frequentemente, pequenas mudanças na formulação podem resultar em ordens de magnitude de melhoria no desempenho.

Estas técnicas incluem reformulações matemáticas, decomposições estruturais, linearizações inteligentes de relações não-lineares, e uso criterioso de variáveis e restrições auxiliares para fortalecer a formulação e acelerar a convergência dos algoritmos de solução.

Estudos de Caso



Os estudos de caso a seguir ilustram aplicações reais do GAMS em diferentes contextos brasileiros, destacando os desafios enfrentados, as abordagens de modelagem adotadas e os resultados práticos obtidos. Estas histórias de sucesso demonstram como a otimização matemática pode gerar valor tangível em diversos setores da economia.

Caso: Otimização da Cadeia de Suprimentos

Contexto e Desafio

Uma empresa multinacional com operações no Brasil enfrentava custos logísticos crescentes e dificuldades para atender níveis de serviço em um mercado geograficamente disperso. O desafio era redesenhar sua rede logística, determinando a localização ideal de centros de distribuição, alocação de demanda e dimensionamento de capacidades.

A complexidade vinha da extensão territorial brasileira, da heterogeneidade tributária entre estados, e da sazonalidade significativa na demanda por produtos.

Este caso ilustra como a modelagem matemática com GAMS pode capturar complexidades específicas do contexto brasileiro, como a estrutura tributária e as grandes distâncias geográficas, transformando-as de desafios em oportunidades para otimização estratégica.

Solução e Resultados

Foi desenvolvido um modelo GAMS integrando decisões de localização (variáveis binárias), fluxos de transporte (variáveis contínuas) e políticas de estoque. O modelo considerava múltiplos produtos, modais de transporte, restrições de capacidade e aspectos tributários específicos do Brasil.

A implementação resultou em:

- Redução de 15% nos custos logísticos totais
- Melhoria de 22% nos tempos de entrega
- Otimização da carga tributária através de fluxos estratégicos
- ROI do projeto atingido em menos de 8 meses

Caso: Planejamento Energético

Contexto Brasileiro

O setor elétrico brasileiro possui características únicas, com predominância hidrelétrica, extensas linhas de transmissão e crescente participação de fontes renováveis intermitentes como eólica e solar. O planejamento da operação deste sistema complexo exige modelos sofisticados que considerem incertezas hidrológicas, restrições de transmissão e variabilidade da geração renovável.

Modelagem com GAMS

Foi desenvolvido um modelo estocástico de despacho hidrotérmico utilizando GAMS, considerando múltiplos cenários hidrológicos, representação detalhada do sistema de transmissão e a dinâmica operativa das usinas. O modelo integrava restrições de reserva operativa para acomodar a crescente penetração de fontes intermitentes.

Implementação e Benefícios

O sistema implementado passou a ser utilizado como ferramenta de suporte à decisão para o planejamento energético de médio prazo, permitindo avaliar políticas de operação, necessidades de expansão e impactos de diferentes cenários climáticos e econômicos.

Resultados Quantitativos

A otimização resultou em redução estimada de 7% nos custos operacionais do sistema, diminuição do risco de déficit energético e melhor aproveitamento dos recursos renováveis, com diminuição do vertimento (desperdício) de água e energia eólica.

Caso: Scheduling de Produção Industrial



Contexto Industrial

Uma indústria de processo no setor petroquímico brasileiro enfrentava desafios com sequenciamento de produção, especialmente devido aos altos tempos e custos de setup quando havia transição entre diferentes famílias de produtos. Os métodos manuais de programação resultavam em frequentes atrasos e custos elevados.



Abordagem de Modelagem

Foi desenvolvido um modelo de programação inteira mista em GAMS para otimizar o sequenciamento da produção, considerando restrições de capacidade, tempos de setup dependentes da sequência, datas de entrega e níveis mínimos de estoque de segurança.



Implementação Prática

O sistema foi integrado ao ERP corporativo, recebendo dados de demanda, inventário e status de produção automaticamente. Uma interface amigável foi desenvolvida para que os planejadores pudessem ajustar parâmetros e visualizar resultados em formato de gráfico de Gantt.



Resultados Obtidos

Após seis meses de implementação, a empresa registrou redução de 20% nos tempos de setup, aumento de 12% na utilização efetiva da capacidade produtiva e diminuição de 35% nos atrasos de entrega, resultando em significativa melhoria da satisfação dos clientes.

Este caso ilustra como a otimização matemática pode transformar processos operacionais fundamentais, criando vantagem competitiva através do uso inteligente de recursos produtivos. A abordagem quantitativa permitiu descobrir padrões ótimos de sequenciamento que não eram evidentes na programação manual baseada em experiência.

Desafios e Limitações

Complexidade Computacional

Muitos problemas de otimização pertencem a classes computacionalmente difíceis (NP-difíceis), impondo limites práticos ao tamanho dos problemas que podem ser resolvidos de forma exata, mesmo com os melhores algoritmos e hardware disponíveis.

Desafios de Modelagem

Certos fenômenos são intrinsecamente difíceis de representar matematicamente, como comportamentos não-lineares complexos, descontinuidades abruptas ou interdependências temporais de longo alcance em sistemas dinâmicos.

Curva de Aprendizado

Dominar a modelagem algébrica e o GAMS requer investimento significativo em aprendizado, combinando conhecimentos de matemática, programação e do domínio específico do problema, criando uma barreira de entrada para novos usuários.

Dados e Incerteza

Modelos de otimização são tão bons quanto os dados que os alimentam. Em muitos contextos práticos, obter dados precisos é um desafio, e lidar com incertezas requer técnicas avançadas que aumentam a complexidade do modelo.

Reconhecer estas limitações é fundamental para aplicar o GAMS de forma eficaz. Frequentemente, a arte da modelagem matemática está em encontrar o equilíbrio adequado entre precisão teórica e viabilidade prática, sabendo onde simplificar e onde preservar detalhes essenciais do problema real.

Tendências Futuras



Integração com IA

Combinação de otimização matemática com aprendizado de máquina e inteligência artificial



Computação em Nuvem

Modelos distribuídos e sob demanda para problemas de grande escala

3

Otimização sob Incerteza

Técnicas avançadas para incorporar robustez e adaptabilidade



Interfaces Intuitivas

Democratização do acesso a ferramentas de otimização

O futuro do GAMS e da otimização matemática aponta para uma integração cada vez maior com outras disciplinas computacionais, especialmente a inteligência artificial. Modelos híbridos que combinam o rigor matemático da otimização com a capacidade de aprendizado de algoritmos de IA prometem abordar classes de problemas até agora intratáveis.

Simultaneamente, avanços em computação distribuída e interfaces mais intuitivas estão democratizando o acesso a estas ferramentas poderosas, permitindo que organizações de todos os tamanhos se beneficiem da otimização matemática para suas decisões estratégicas e operacionais.

Conclusões



Fundamentos Sólidos

O GAMS oferece uma base robusta para modelagem algébrica



Versatilidade Prática

Aplicações em diversos setores demonstram seu valor real



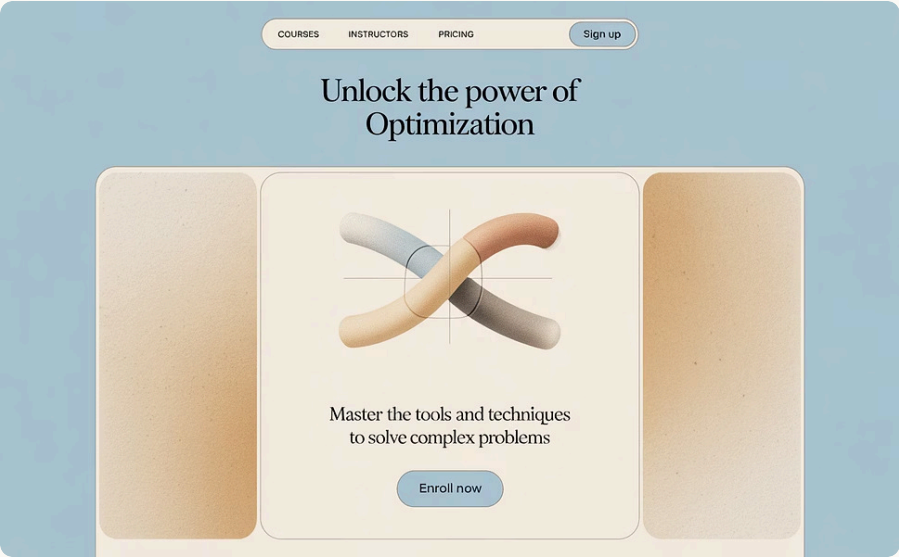
Caminho de Aprendizado

Investir em conhecimento de otimização traz retornos significativos

Ao longo desta apresentação, exploramos os fundamentos do GAMS, suas capacidades técnicas e suas aplicações práticas em diversos contextos. A linguagem de modelagem algébrica se revelou uma ferramenta poderosa para traduzir problemas complexos do mundo real em modelos matemáticos estruturados e resolúveis.

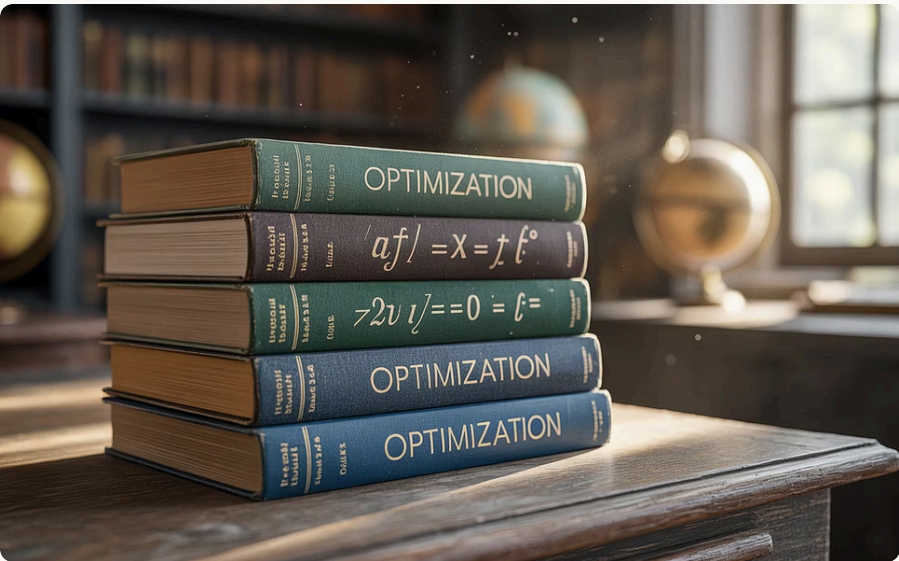
O domínio do GAMS representa uma habilidade valiosa no atual cenário de tomada de decisão baseada em dados. A capacidade de formular e resolver problemas de otimização abre portas para melhorias significativas em eficiência, redução de custos e vantagem competitiva em praticamente qualquer área de atuação.

Aprendendo Mais



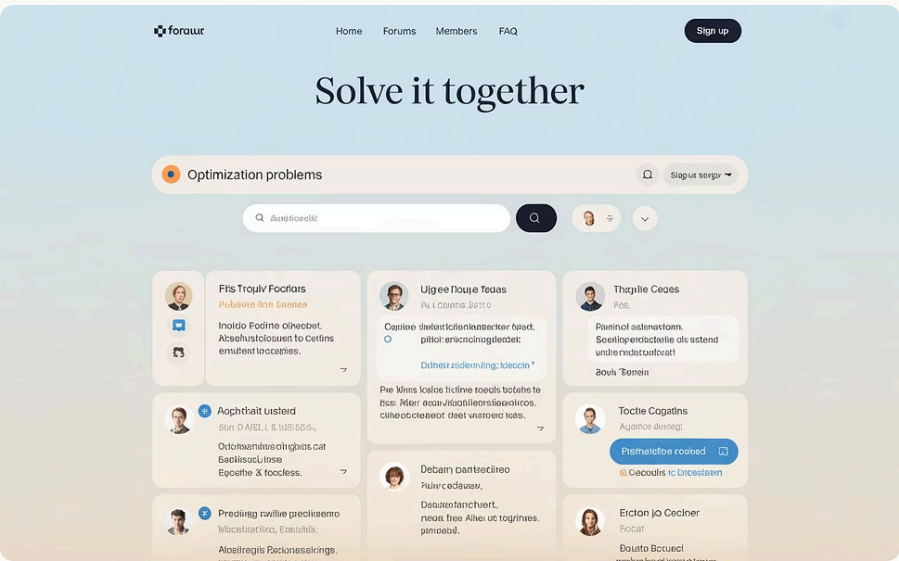
Cursos Online

Plataformas como Coursera, edX e Udemy oferecem cursos introdutórios e avançados em otimização matemática e GAMS. A própria GAMS Development Corp. disponibiliza webinars e tutoriais gratuitos regularmente.



Literatura Recomendada

"GAMS: A User's Guide" (Brooke et al.) é a referência oficial. "Modeling with GAMS" (McCarl & Spreen) oferece exemplos práticos. Em português, "Pesquisa Operacional" (Arenales et al.) e "Otimização" (Goldbarg & Luna) são excelentes introduções.



Comunidade e Suporte

O fórum oficial GAMS (gams.com/forum) e grupos como OR-Exchange são valiosos para tirar dúvidas. No Brasil, a SOBRAPO (Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional) mantém grupos de discussão e eventos regulares.

O aprendizado contínuo é essencial neste campo dinâmico. Além dos recursos mencionados, a prática com problemas reais e a participação em comunidades de usuários são fundamentais para desenvolver intuição e experiência. Muitas universidades brasileiras oferecem disciplinas de otimização e pesquisa operacional que incluem GAMS em seus currículos.

Exercícios Propostos

10

Exercícios Básicos

Problemas introdutórios para praticar a sintaxe GAMS e conceitos fundamentais

7

Desafios Intermediários

Problemas mais complexos abordando diferentes classes de modelos

5

Projetos Avançados

Implementações completas de casos reais para aplicação integrada dos conceitos

Os exercícios propostos seguem uma progressão pedagógica, começando com implementações simples de modelos clássicos como transporte e designação, avançando para problemas mais complexos como scheduling, planejamento financeiro e otimização de sistemas energéticos.

Cada exercício inclui a descrição do problema, dicas para modelagem, conjunto de dados de teste e questões para reflexão sobre os resultados obtidos. Para maximizar o aprendizado, tente resolver os problemas por conta própria antes de consultar as soluções de referência disponibilizadas.



Referências Bibliográficas



Livros Fundamentais

BROOKE, A.; KENDRICK, D.;
MEERAUS, A. "GAMS: A User's
Guide". GAMS Development
Corporation, 2023.

McCARL, B.A.; SPREEN, T.H.
"Applied Mathematical
Programming Using Algebraic
Systems". Texas A&M University,
2020.



Artigos Científicos

MEERAUS, A. "An Algebraic
Approach to Modeling". Journal of
Economic Dynamics and Control, v.
5, p. 81-108, 1983.

BUSSIECK, M.R.; MEERAUS, A.
"General Algebraic Modeling
System (GAMS)". In: COCHRAN,
J.J. (Ed.). Modeling Languages in
Mathematical Optimization.
Springer, 2004.



Recursos Online

GAMS Development Corporation.
"GAMS Documentation". Disponível
em:
<https://www.gams.com/latest/docs/>

GAMS Model Library. Disponível
em:
https://www.gams.com/latest/gamslib_ml/libhtml/

Estas referências fornecem a base teórica e prática para o estudo aprofundado do GAMS e da modelagem algébrica. Os livros fundamentais oferecem visões abrangentes da linguagem e suas aplicações, enquanto os artigos científicos exploram aspectos específicos e avanços recentes na área. Os recursos online permitem acesso à documentação oficial atualizada e a uma vasta biblioteca de modelos de exemplo.

Referências de Universidades Brasileiras

Instituição	Referência	Ano
UFSC	ROCHA, C.B. "Aplicação de GAMS na otimização de sistemas energéticos." Dissertação de Mestrado.	2023
UFRJ	SILVA, A.M. "Modelos de otimização para cadeia de suprimentos usando GAMS." Tese de Doutorado.	2022
UFMG	SANTOS, J.R. "Algoritmos de decomposição implementados em GAMS." Repositório UFMG.	2024
USP	OLIVEIRA, F.L. "Otimização estocástica aplicada ao setor elétrico brasileiro." Tese de Doutorado.	2021
UNICAMP	PEREIRA, M.V. "Programação inteira-mista para problemas de scheduling industrial." Dissertação de Mestrado.	2023

As universidades brasileiras têm contribuído significativamente para o avanço da pesquisa em otimização matemática e aplicações do GAMS. Estas referências representam apenas uma pequena amostra do trabalho de qualidade sendo realizado em instituições nacionais, abrangendo diversas áreas como energia, logística, manufatura e finanças.

Recomenda-se aos estudantes interessados em aprofundar seus conhecimentos que consultem os repositórios digitais destas universidades, onde podem encontrar uma rica coleção de teses, dissertações e artigos abordando tanto aspectos teóricos quanto aplicações práticas do GAMS no contexto brasileiro.

Referências complementares

Além das referências listadas acima, recomenda-se consultar os repositórios digitais das principais universidades brasileiras que mantêm acervos atualizados de teses, dissertações e artigos sobre IA:

- Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (www.teses.usp.br)
- Repositório Institucional da UFMG (repositorio.ufmg.br)
- Repositório Digital da Unicamp (repositorio.unicamp.br)
- Biblioteca Digital da UFPE (repositorio.ufpe.br)
- Lume - Repositório Digital da UFRGS (lume.ufrgs.br)
- Repositório Institucional da FGV (bibliotecadigital.fgv.br)
- Biblioteca Digital de Monografias da UFABC (biblioteca.ufabc.edu.br)

Para acompanhar os avanços mais recentes na pesquisa brasileira, recomenda-se também os anais das conferências BRACIS, SBIA, ENIAC e workshops especializados organizados pela Sociedade Brasileira de Computação (SBC).