

## Bloco Funcional Matemático Flexível

Atualmente, quando existe um problema que exige soluções com cálculos matemáticos mais complexos é necessário criar um bloco funcional específico para este problema ou tentar utilizar um conjunto grande de blocos funcionais aritméticos que são capazes de calcular algumas expressões matemáticas pré-definidas.

A ausência de um bloco funcional que tenha a flexibilidade e as ferramentas matemáticas para se adaptar aos variados problemas, nos motivou a propor um bloco matemático flexível capaz de ser facilmente configurado com um conjunto de expressões matemáticas.

### 1 - Blocos Funcionais

Antes de especificarmos o bloco matemático flexível, devemos entender o que são os blocos funcionais.

Os blocos funcionais são elementos de software que realizam um ou mais funções automáticas de controle ou monitoração. Cada bloco funcional processa entradas de acordo com o seu algoritmo específico e produz saídas que são acessíveis a outros blocos funcionais interagindo entre si para formar uma estratégia de controle.

Um exemplo clássico do uso de blocos funcionais é no controle da temperatura de uma caldeira utilizando um controlador PID para posicionar uma válvula de refrigeração.

O diagrama abaixo ilustra como os blocos interagem entre si para formar a estratégia de controle:

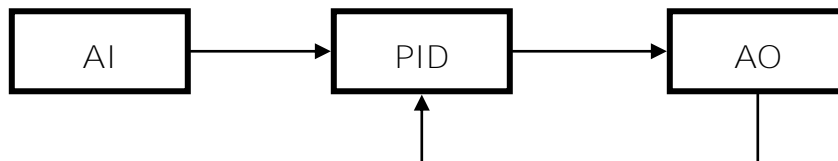


Figura 1 - Estratégia de Controle da Temperatura de uma Caldeira Utilizando Blocos Funcionais

O bloco PID utiliza o valor da temperatura na caldeira, medido pelo bloco AI (*Analog Input*) e a posição atual da válvula medido pelo bloco AO (*Analog Output*), para controlar a temperatura da caldeira através do posicionamento correto da válvula de refrigeração. As linhas que conectam os blocos representam as interações entre os blocos funcionais e são chamadas de *links*.

Em um *link* são passados o valor e o status de uma saída de um bloco, para o campo de entrada de um ou mais blocos. O status de uma variável fornece uma informação qualitativa do valor da saída, existem três tipos básicos de status:

*Good* - O valor da variável é totalmente confiável;

*Uncertain* - O valor da variável é incerto;

*Bad* - O valor da variável não é confiável;

A grande vantagem do uso de blocos funcionais está na possibilidade de distribuir os blocos em diversos equipamentos, aumentando assim a confiabilidade do sistema, por exemplo, no caso acima poderíamos colocar o bloco AI em um sensor de temperatura e os blocos AO e o PID num posicionador de válvula.

### 2 - Bloco Matemático Flexível

O bloco matemático flexível proposto neste artigo é para o uso em equipamentos de maior poder de processamento, por exemplo, o DF51 da Smar e possui as seguintes características básicas:

Possibilidade de execução de um a série de expressões matemáticas “customizadas” pelo usuário envolvendo os valores de entrada com os valores de saída, para isso podendo recorrer do uso de variáveis auxiliares;

Edição amigável das expressões matemáticas, sugerimos o uso de uma linguagem similar ao do Microsoft Excel;

Possibilidade de utilização das operações matemáticas descritas na tabela 1, deve-se perceber que é também possível utilizar o Status das variáveis através das funções *BAD*, *GOOD*, *UOB* e *UOG*;

Operação	Sintaxe	Tipo de Variável
AND	and(Num;Num)	Real
Arco Seno	asin(Num)	[-1;1]
Arco Cosseno	acos(Num)	[-1;1]
Arredondamento para Baixo	floor(Num)	Real
Arredondamento Para Cima	ceil(Num)	Real
Arredondamento para o mais próximo	round(Num)	Real
Status Bad	BAD(Status)	Variável de Status

Cosseno	cos(Num)	Radianos
Divisão	/	Real
Exponencial	exp(Num)	Real
Status Good	GOOD(Status)	Variável de Status
Logaritmo	log(Num;Base)	Real
Módulo	abs(Num)	Real
Multiplicação	*	Real
Negação	(-Num)	Real
OR	or(Num;Num)	Real
Potência	^	Real
Seno	sin(Num)	Radianos
Soma	+	Real
Subtração	-	Real
Tangente	tan(Num)	Radianos
Status Uncertain ou Bad	UOB(Status)	Variável de Status
Status Uncertain ou Good	UOG(Status)	Variável de Status

Tabela 1: Operações matemáticas suportadas pelo bloco matemático flexível

Possibilidade do uso de expressões condicionais semelhantes aos usados no Microsoft Excel:

*if(condição; caso afirmativo; caso negativo)*

Até 10 expressões matemáticas;

Identificador dos seguintes tipos de erros nas expressões inseridas pelo usuário:

- o Nome de variável incorreto
- o Uso incorreto das operações matemáticas, por exemplo, divisão por zero;

10 entradas analógicas;

4 entradas discretas;

2 saídas analógicas;

2 saídas discretas;

20 variáveis auxiliares analógicas;

10 variáveis auxiliares discretas;

Parâmetro MC representando o Ciclo de Execução do bloco;

Concatenação de dois ou mais campos para formar uma expressão matemática mais longa;

## 2.1 – Representação das Variáveis nas Expressões Matemáticas

Para representar as variáveis de entrada, saída e auxiliar é proposta a nomenclatura descrita na tabela 2.

Variável	Representação
Entrada Analógica	AIX
Entrada Discreta	DIX
Status da Entrada Analógica	AIXS
Status da Entrada Discreta	DIXS
Saída Analógica	AOX
Saída Discreta	DOX
Variável Auxiliar Analógica	AAX
Variável Auxiliar Discreta	DAX

Tabela 2 – Nomenclatura das variáveis no bloco flexível matemático

Onde X representa o número da variável, por exemplo:

- A11 – Representa a variável de entrada analógica 1;
- DA7 – Representa a variável auxiliar discreta 7;

## 2.2 – Identificação de Erros

A identificação dos erros nas expressões matemáticas é facilmente realizada através de campos indicando a linha, posição na linha e o tipo de erro ocorrido. Os tipos de erros que são identificados pelo bloco estão dispostos na tabela 3.

Código	Erro
0	Nenhum erro
1	Nome de Variável Inválido
2	Nome de Função Inválido
3	Divisão por Zero

4	Uso Incorreto do Logaritmo
5	Raiz Quadrada de um Número Negativo
6	Arco Inexistente
7	Erro Não Identificado

Tabela 3 - Tipos de erros previstos no bloco flexível matemático

### 3- Exemplo de Aplicação com o Uso do Bloco Flexível Matemático

Considere o sistema formado por um tanque cilíndrico com uma entrada e três saídas, conforme a figura 2. A função do cilindro é separar as substâncias da mistura inserida (Água, Óleo e Gás) nas três diferentes saídas do cilindro.

Utilizaremos o bloco flexível para determinar o volume de óleo no tanque cilíndrico, representado pela região escura da figura 2.

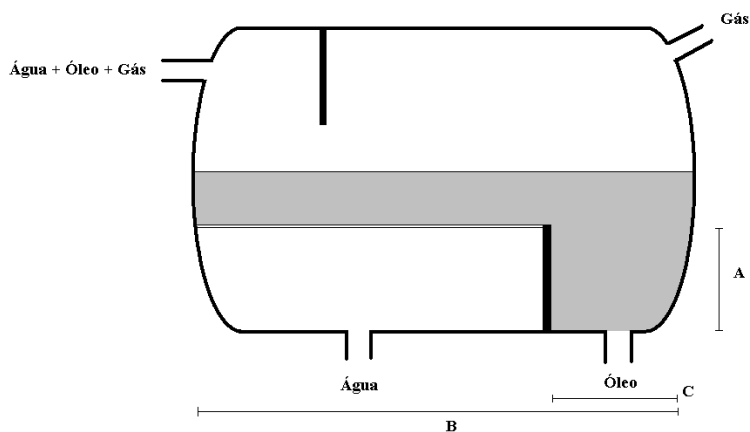


Figura 2 - Sistema de separação do Gás, Óleo e Água

Consideremos as seguintes premissas:

- Sabemos quais os comprimentos A, B e C;
- Conhecemos o Raio do Cilindro - R;
- Temos um sensor medindo a altura em que o óleo está, e em nossa configuração este valor está sendo inserido na entrada In\_1 do bloco;
- A interface entre a água e o óleo tem espessura desprezível;
- Garantimos que a interface está sempre a uma altura A;

Para resolver este problema devemos modelar o sistema em três situações:

- Caso 1: Altura do óleo é menor que o raio da seção transversal e maior que a altura A:

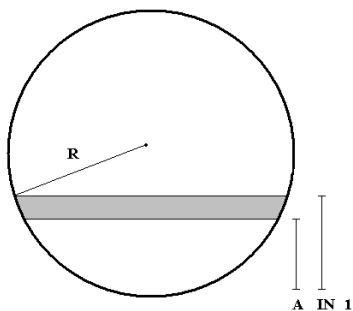


Figura 3 - Seção Transversal do Sistema para o Caso 1

Sabemos que a área da região escura mostrada na figura 3 é dado por:

$$Ar = R^2 * \arccos\left(\frac{R - ln_1}{R}\right) - \arccos\left(\frac{R - A}{R}\right) - (R - A) * \sqrt{R^2 - (R - A)^2} - (R - ln_1) * \sqrt{R^2 - (R - ln_1)^2}$$

Portanto o volume do óleo para o caso 1 será:

$$V = Ar * B = R^2 * \arccos\left(\frac{R - A}{R}\right) - (R - A) * \sqrt{R^2 - (R - A)^2} * C$$

- Caso 2: Altura do óleo é maior que o raio da seção transversal:

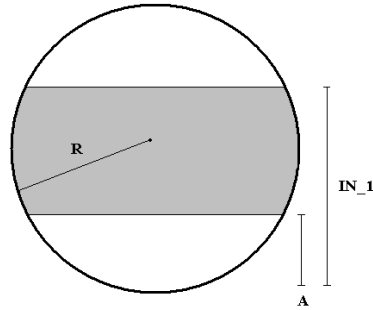


Figura 4 - Seção Transversal do Sistema para o Caso 2

A área da região escura na figura 4 e o volume do óleo serão:

$$Ar = R^2 * 2 * \arccos\left(\frac{ln_1 - R}{R}\right) - \arccos\left(\frac{R - A}{R}\right) - (R - A) * \sqrt{R^2 - (R - A)^2} - (ln_1 - R) * \sqrt{R^2 - (ln_1 - R)^2}$$

$$V = Ar * B = R^2 * \arccos\left(\frac{R - A}{R}\right) - (R - A) * \sqrt{R^2 - (R - A)^2} * C$$

- Caso 3: Altura do óleo é menor que A

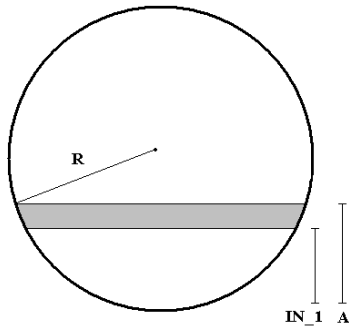


Figura 5 - Seção Transversal do Sistema para o Caso 3

Similarmente ao caso 1, teremos que o volume do óleo será:

$$Ar = R^2 * \arccos\left(\frac{R - A}{R}\right) - \arccos\left(\frac{R - ln_1}{R}\right) - (R - ln_1) * \sqrt{R^2 - (R - ln_1)^2} - (R - A) * \sqrt{R^2 - (R - A)^2}$$

$$V = R^2 * \arccos\left(\frac{R - A}{R}\right) - (R - A) * \sqrt{R^2 - (R - A)^2} * C - Ar * C$$

Com as expressões acima podemos configurar o bloco com as seguintes expressões matemáticas:

$$A42 = A41 * 1 * \arccos((A47) / A45) - (A47) * (A41 - (A47) * (A47))^{0.5}$$

$$A47 = \text{if}(A/1 > A45; A45 - A/1; A/1 - A45)$$

$$A43 = \text{if}(A/1 > A46; A41 - A42; \text{if}(A/1 > A45; A42 - A41; A48 - A41 - A42))$$

$$A40 = \text{if}(A/1 > A46; (A41 - A43) * A410; A43 * A49 - A41 * A410)$$

Onde utilizamos as variáveis auxiliares com os seguintes valores:

- $AA1 = R^2 * \arccos((R-A)/R) - (R-A) * (R^2 - (R-A)^2)^{0.5}$
- $AA5 = R$
- $AA6 = A$
- $AA8 = R^2$
- $AA9 = B$
- $AA10 = C$
- $AA11 = R^2$

Com esta configuração obtemos o volume de óleo no cilindro na variável de saída 1 do bloco matemático.

Percebemos através deste exemplo que o bloco matemático flexível pode resolver diversos problemas que envolvam cálculos matemáticos, dos mais simples até os mais complexos.