

ANDRÉ LOMONACO BELTRAME

**ELABORAÇÃO DE SOFTWARE PARA SIMULAÇÃO DE
CIRCUITO DE BRITAGEM**

São Paulo

2006

ANDRÉ LOMONACO BELTRAME

**ELABORAÇÃO DE SOFTWARE PARA SIMULAÇÃO DE
CIRCUITO DE BRITAGEM**

Trabalho de Formatura em
Engenharia de Minas do curso de
graduação do Departamento de
Engenharia de Minas e de Petróleo da
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo.

Orientador: prof. Dr. Sérgio Médici
de Eston.

São Paulo

2006

EPMI
TF-2006
B419e
Super 1544599

M2006j

DEDALUS - Acervo - EP-EPMI



31700005933

FICHA CATALOGRÁFICA

Beltrame, André Lomonaco

Elaboração de software para simulação de circuito de britagem / A.L. Beltrame. -- São Paulo, 2006.

24 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

1.Britagem 2.Peneiramento 3.Modelagem matemática
4.Softwares (Planejamento) I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.

AGRADECIMENTOS

Inicialmete, gostaria de agradecer aos meus pais por terem me dado as condições emocionais, intelectuais e financeiras de trilhar, com muita liberdade, por todos os caminhos, que me trouxeram até aqui. Agradeço, também, aos meus irmãos (Helen e Arthur) pela competição saudável durante toda a infância (o que me levou a sempre querer ser melhor) e por fazerem minha vida feliz o bastante para eu me preocupar com a criação de algo duradouro e com valor intelectual.

Também gostaria de agradecer aos colegas Luis Felipe Espinhal e Ivan Koh Tachibana por terem colaborado ativamente com este projeto. Luis por ter me dado a oportunidade de contribuir com o seu trabalho e a desenvolver muitas das técnicas utilizadas neste programa e Ivan por ter pacientemente discutido detalhes técnicos e sugestões para um programa “user-friendly”.

Agradeço também aos professores da Escola Politécnica, principalmente aqueles da Engenharia de Minas, pois foram os grandes motivadores do meu percurso e se mostraram atenciosos e disponíveis em todos os momentos. Em especial ao professor Sérgio Médici de Eston pelas oportunidades que me ofereceu nos últimos anos, através de projetos que expandiram em muito o meu conhecimento de programação e fornecendo muitas das ferramentas necessárias para executar as tarefas aqui propostas.

Finalmente aos amigos e colegas que participaram desta longa jornada na Escola Politécnica e que certamente me acompanharão em muitas outras ainda por vir.

RESUMO

Devido a constatação da falta e alto custo de software especializado, este trabalho procura desenvolver um software de simulação de um sistema genérico de britagem e peneiramento com tecnologia nacional e propõe desenvolver métodos para cálculo de imperfeições de peneiras, lógica de programação e organização de processos interligados. O programa foi desenvolvido com base em um estudo de caso de uma pedreira na região metropolitana de São Paulo, utilizando a ferramenta Visual Basic para permitir o uso em qualquer usina de britagem. O trabalho abordou os fundamentos do problema e mostrou uma aplicação funcional dos conceitos descritos e evidenciou que há muito a ser pesquisado e desenvolvido nesta área.

PALAVRAS-CHAVE

- Britagem;
- Peneiramento;
- Modelagem Matemática;
- Softwares (Planejamento);

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	1
2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1.Britagem	2
2.2.Peneiramento	4
3.MATERIAIS E MÉTODOS	6
3.1.Fluxograma.....	6
3.2.Metodologia	6
3.3.Justificativa.....	6
3.4.Objetivos	7
3.5.Britadores	8
3.5.1.Britador Primário	8
3.5.2.Britador Secundário.....	9
3.5.3.Britador Terciário.....	10
3.6.Peneiras.....	10
4.PROGRAMAÇÃO	11
4.1.Programação da Britagem	11
4.2.Programação do Peneiramento.....	11
4.3.Programação da lógica	14
5.SOFTWARE.....	15
5.1.Utilização do software	15
5.2.Inserindo os dados	16
5.2.1.Alimentação:.....	16
5.2.2.Britadores:	17
5.2.3.União e Separadores:.....	18
5.2.4.Peneiras:	19
5.2.5.Produutos:.....	20
5.2.6.Texto e finalização do fluxograma:	21
6.RESULTADOS OBTIDOS	22
7.CONCLUSÃO	23
8.BIBLIOGRAFIA	24

1. INTRODUÇÃO

O trabalho descreve a criação de um software para simulação de um circuito de britagem e classificação, destinado à produção de agregado graúdo para construção civil. Serão apresentados todos os métodos e premissas utilizadas desde a criação do fluxograma até a simulação da eficiência do peneiramento computacionalmente.

Os dados utilizados se basearam nas curvas granulométricas fornecidas pelos fabricantes. Para as peneiras foi desenvolvido um método particular para o cálculo do volume do material passante e do material retido, calculando-se dessa forma sua eficiência. Toda a programação foi realizada em Visual Basic.

O programa tem como objetivo aumentar o conhecimento sobre as possibilidades apresentadas por uma disposição física presente e as alterações trazidas pela introdução de novos equipamentos a um circuito existente. Poderá também ser um primeiro passo para um novo projeto que será útil seja na escolha dos equipamentos de forma a maximizar os produtos requeridos e para compra dos equipamentos após refinamento dos cálculos. É fato notório que em muitas instalações as alterações no circuito são feitas por funcionário experiente e, sendo assim, o software só vem aumentar o poder de controle e a aplicação dos conceitos modernos de automação.

As conclusões indicam que softwares desta natureza são de grande utilidade para a indústria de agregados, tendo como fator limitante o elevado custo dos poucos programas existentes no mercado.

O principal problema na produção de agregado graúdo para a construção civil é a obtenção de uma partição com produtos de diferentes características granulométricas. A variação na demanda por certos produtos torna complicada a sua obtenção, pois os equipamentos utilizados não podem ser modificados a cada exigência de mercado.

São Paulo hoje em dia é o terceiro maior estado produtor de bens minerais do país, perdendo somente para os estados do Pará e Minas Gerais. Entretanto, enquanto estes dois estados produzem minério de ferro, ouro e outros minérios de metais, a produção paulista se concentra nos agregados para construção civil conhecidos como pedra britada e areia.

A produção de agregados no Brasil no ano de 2.000 chegou a 238 milhões de metros cúbicos, segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM (2000), sendo que 97 milhões de metros cúbicos são de pedra britada, dos quais 20% são produzidos por empresas localizadas na região metropolitana de São Paulo, que é um dos maiores centros consumidores do país. Desta produção, cerca de 60% é utilizado em concreto, que é o setor consumidor de agregados com maior desenvolvimento tecnológico e o restante é absorvido por usos diversos, como pavimentação, por exemplo.

O objetivo desse trabalho é o desenvolvimento de um software que otimize a produção e auxilie na obtenção da melhor partição de produto, variando-se as aberturas dos equipamentos de britagem, as aberturas das peneiras e a partição dos fluxos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste trabalho serão utilizados dois conceitos básicos, qual seja a britagem e o peneiramento. Com esta revisão bibliográfica, pretende-se estabelecer uma base à investigação do trabalho proposto, através destes dois pontos principais.

2.1. Britagem

Cominuição é o conjunto de operações de redução de tamanhos de partículas minerais executado de maneira controlada e de modo a cumprir um objetivo pré-determinado. Isso inclui duas exigências: controlar o tamanho máximo dos produtos e evitar a geração de quantidades excessivas de finos (Chaves, 1999).

Outro parâmetro que será levado em conta é a *relação de redução*, que representa o quociente entre os tamanhos máximos da alimentação e do produto em uma operação de cominuição.

Na britagem, as partículas grosseiras sofrem a ação de forças de compressão ou de impacto, por isso ela necessita de um grande volume de partículas e de tamanhos maiores. A sua relação de redução é pequena, as forças aplicadas são elevadas e a geometria do equipamento tem importância fundamental.

O dimensionamento dos britadores é feito usualmente com o auxílio de curvas e tabelas de operação fornecidas pelos fabricantes dos equipamentos. O procedimento normal consta das seguintes etapas (CETEM, 2002):

- Consultar a tabela de especificação técnica definindo alguns equipamentos que estarão dentro das condições exigidas;
- Verificar as capacidades de produção de cada equipamento selecionado, observando se estão dentro das condições especificadas;
- Observar as curvas granulométricas do tipo de equipamento para melhor definir as condições de operação;



Figura 1 – Britagem móvel



Figura 2 – Britador giratório primário.



Figura 3 – Britador primário.

2.2. Peneiramento

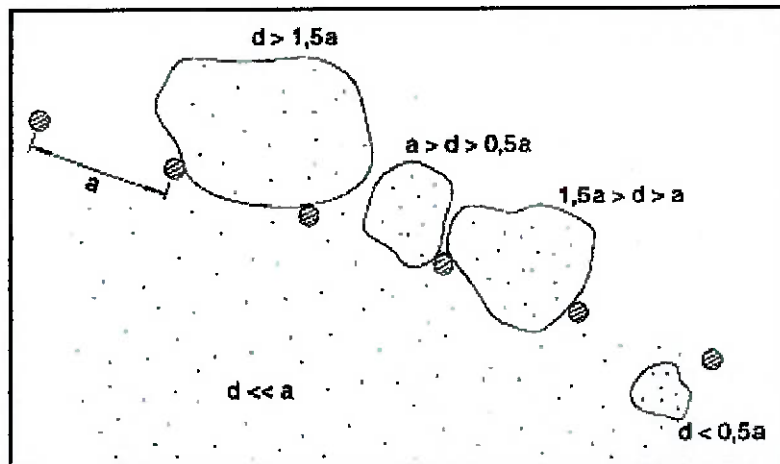
Peneiramento é a operação de separação de uma população de partículas em duas frações de tamanhos diferentes, mediante a sua apresentação a um gabarito de abertura fixa e pré-determinada. Cada partícula tem apenas a possibilidade de passar ou de ficar retida. Os dois produtos chamam-se “oversize” ou retido e “undersize” ou passante.

A faixa de tamanhos submetidos ao peneiramento vai desde maticões de 18” (0,46 m) a talco (130 μm). Os equipamentos capazes de fazer este serviço são muito variados, podendo ser divididos genericamente em peneiras fixas, peneiras vibratórias inclinadas, peneiras vibratórias horizontais, grelhas e trômeis (peneiras rotativas).

O peneiramento é dito “a seco” quando é feito com o material na sua umidade natural (que não pode, entretanto, ser muito elevada) e dito “a úmido” ou “via úmida” quando o material é alimentado na forma de uma polpa ou recebe água adicional através de sprays convenientemente dispostos sobre os decks de peneiramento.

As partículas de tamanhos diferentes (diâmetro d), em relação à abertura da tela (a), apresentam comportamentos distintos. Vide figura 4 (Chaves-Peres, 1999).

- $d > 1,5 a$: as partículas maiores que 1,5 vez a abertura da tela escorrem sobre a tela e são encaminhadas para o oversize. Não acarretam problemas para o peneiramento, exceto problemas operacionais, se a sua quantidade for grande. Neste caso podem deformar a tela devido ao seu peso elevado, ou acentuar seu desgaste. Um deck de alívio é recomendado nessa situação.
- $1,5 a > d > a$: essas partículas também vão para o oversize. A diferença em relação à classe anterior é que, como têm tamanho próximo ao da malha, fazem várias tentativas para passar e podem acabar presas em alguma abertura, não saindo mais de lá.
- $a > d > 0,5 a$: nessa situação a partícula só passa se cair numa posição conveniente em relação à malha. Na prática, isso só acontece após um número elevado de tentativas e, ainda assim, grande número de partículas acabam sendo encaminhadas ao oversize. Esta faixa de tamanhos é denominada “faixa crítica” e é determinante tanto da capacidade da peneira como da eficiência de um dado peneiramento.
- $d < 0,5 a$: partículas menores que a metade da abertura da malha atravessam-na com facilidade e não interferem com o peneiramento.
- $d \ll 0,5 a$: partículas muito finas (poeiras e lamas) deveriam ter um comportamento idêntico ao da classe anterior. Na realidade isto acontece apenas com parte delas, muitas passam direto. Por causa da sua elevada área de superfície, outras tantas aderem às partículas maiores e as acompanham, seja para o oversize, seja para o undersize (a área de superfície está associada à umidade: o filme de água se distribui sobre a superfície das partículas e, portanto é maior nos finos). Grosseiramente pode-se admitir que as partículas desta classe se repartam entre oversize e undersize na proporção das quantidades de água arrastadas. Quando a quantidade destas partículas é muito grande é que se faz necessário o peneiramento a úmido, em que as partículas graúdas são “lavadas” sobre a tela.



Fonte: Chaves-Peres, 1999

Figura 4 - Comportamento individual das partículas



Figura 5 – Peneira industrial.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Fluxograma

A primeira parte do programa envolve uma gama de conceitos importantes para a aplicação de software para modelagem de qualquer processo. Alguns passos foram executados no planejamento do sistema de geração de fluxogramas:

- Definição do escopo do trabalho: foi definido para o trabalho modelar e simular apenas o processo de britagem e peneiramento, deixando para uma próxima etapa a modelagem de moinhos, ciclones e outros equipamentos.

- Definição das limitações: foi definido que simular perfeitamente um sistema não era o objetivo do trabalho, e sim mostrar as possibilidades da utilização dos softwares na indústria. Foram feitas algumas simplificações como simular apenas peneiras de 1 deck por vez (podendo incluir varias peneiras em série).

3.2. Metodologia

Desenvolver este programa foi uma tarefa multidisciplinar, foram utilizados elementos do aprendizado da área de mineração (entender o processo de britagem e peneiramento para poder fazer a modelagem), tópicos de programação (criação de classes e polimorfismo) e um pouco de recursos humanos. Antes de desenvolver o software foi feita uma pesquisa com engenheiros que trabalham em consultorias ou em pedreiras para averiguar a necessidade de softwares desse tipo com preço acessível e tecnologia nacional.

A escolha pela tecnologia Visual Basic foi feita pelo fato do autor conhecer bem a linguagem e esta ser uma linguagem de alto nível acessível aos alunos da Escola Politécnica pela colaboração com o Laboratório Microsoft, podendo assim adquirir uma cópia grátis para a execução do projeto.

3.3. Justificativa

Desenvolver este software atende uma necessidade do mercado nacional, além disso, começa a criar as bases teóricas para decisão de ordem de cálculo, métodos para distribuição da imperfeição das peneiras e padronização das malhas a serem calculadas é um primeiro passo que pode gerar uma nova onda de softwares na área visto que a deficiência nacional é muito grande.

Foi feita uma pesquisa para determinar a existência de tais softwares que realizassem a mesma tarefa, chegando ao apenas dois “concorrentes”. O AGGFLOW (5000 US\$ por licença) e um software da Metso Minerals. No cenário nacional não foi encontrado nenhum tipo de software análogo.

Conversando com gerentes de minerações foi feita uma pesquisa informal para identificar se tal software teria mercado e as respostas foram sempre relacionadas ao custo do programa. Se o custo fosse algo em torno de 500 a 1000 reais, eles comprariam uma licença para utilizar o software em suas instalações. Podemos ver que a distancia entre o preço que as empresas querem gastar com isso e o preço dos produtos internacionais é muito grande.

3.4. Objetivos

Os objetivos do trabalho são:

- Criar um método para distribuição de imperfeição de peneiramento.
- Criar um método de identificação e cálculo de fluxo circulante em um fluxograma.
- Aplicar os métodos criados e comparar com outros métodos.
- Desenvolver um software que automatize a aplicação dos métodos acima.

A seguir será apresentado um fluxograma de exemplo usado no programa.

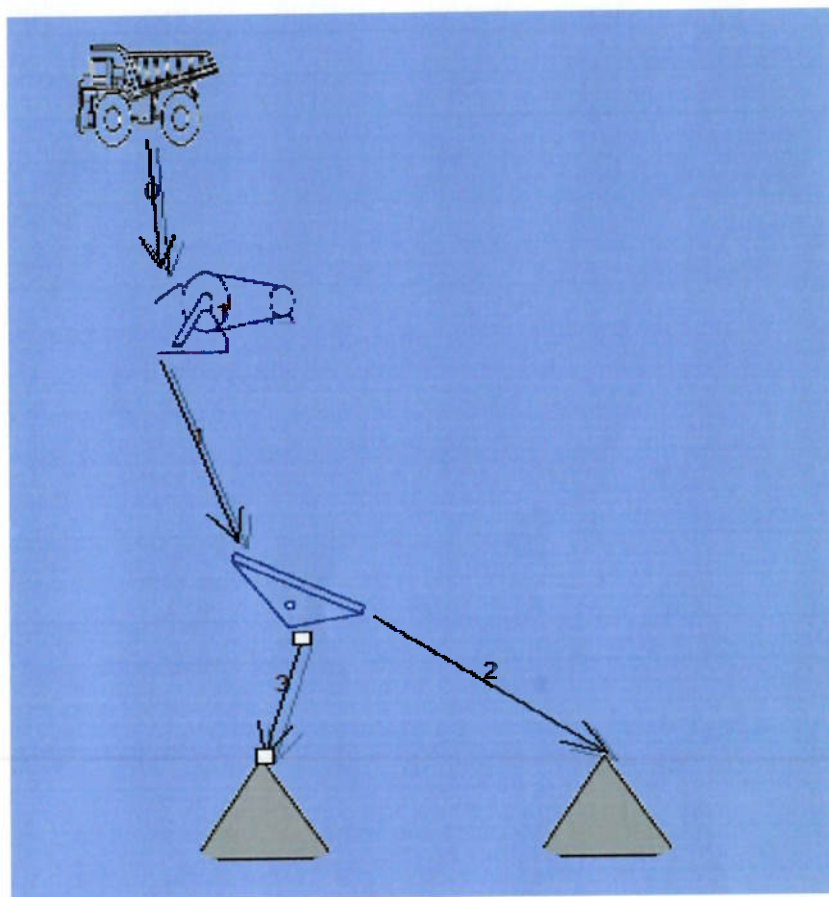


Figura 6- Fluxograma exemplo

3.5. Britadores

Nesse item será discutido como foram selecionados os modelos dos britadores, e os parâmetros que serão utilizados pelo programa, como, por exemplo, curvas granulométricas e produção nominal. O material que vai ser britado será o granito, com WI em torno de 14 KWh/st e densidade aparente de $1,5\text{g/cm}^3$.

Os britadores selecionados são:

- Britador Primário (BR-01): SVEDALA Jawmaster 1312 HD;
- Britador Secundário (BR-02): SVEDALA S 4000 (médios);
- Britador Terciário (BR-03): SVEDALA H 4000 (médios);

O objetivo do programa não será o dimensionamento de britadores. A introdução de novos britadores no programa é possível e fácil, adicionando apenas os dados da curva característica para cada abertura do britador no banco de dados do programa (BD1.mdb).

3.5.1. Britador Primário

Como o produto a ser britado será o granito, um britador giratório não é muito indicado devido a abrasividade do material. Já para um britador de impacto, além desse problema, este equipamento possui um produto com uma faixa granulométrica muito ampla, o que não é bom para a produção de agregados graúdos, portanto, o giratório é realmente a melhor escolha.

Atualmente, o ponto de equilíbrio para uma empresa de produção de agregado graúdo para construção civil é uma produção de 60 a 75 mil toneladas por mês. Considerando-se uma jornada de 10 horas diárias, 20 dias ao mês e um fator de utilização de 80% do britador, por ele trabalhar com um material vindo do R.O.M (run of mine), chegamos a um valor de capacidade nominal de aproximadamente 440 t/h. Como o objetivo é produzir um valor superior a este, o britador Jawmaster 1312 HD, que possui capacidade nominal de 513 t/h com abertura de 9" é a melhor escolha.

Foram incluídos no banco de dados alguns britadores para ilustrar a utilização do software, como exemplo de britador primário está o Jawmaster 1312HD.

As maiores vantagens do Jawmaster sobre um britador de mandíbula de 1 eixo convencional, são a sua câmara de britagem simétrica e de grande profundidade vertical, garantindo uma maior capacidade e um maior grau de redução. Outra vantagem é que por ser um projeto para serviço pesado, devido à sua carcaça monobloco e eixo forjado rígido de diâmetro maior em relação a outros britadores de tamanho similar, o Jawmaster possuirá uma maior vida útil (FAÇO – 1994).

A seguir estão as tabelas com as curvas granulométricas e as capacidades de produção para as respectivas aberturas.

Tabela 1 – Curvas granulométricas (Jawmaster 1312 HD)

Jawmaster 1312 HD - Svedala (Primário)							
GRANITO (12,1 < Wl (KWh/st) < 16) Tmax= 1,8 X APF							
	APF (pol.) →	10" (254)	9" (229)	8" (203)	7" (178)	6" (152)	5" (127)
abertura (pol)	abertura (mm)	% passante acumulada	% p.a.	% p.a.	% p.a.	% p.a.	% p.a.
18"	457	100	100				
15"	381	95	96	100	100		
12"	305	90	92	95	98	100	
10"	254	75	84	90	95	100	100
8"	203	62	68	75	86	93	98
7"	178	55	60	67	75	88	94
6"	152	48	52	58	66	75	88
5"	127	40	44	50	56	64	75
4"	102	31	35	39	46	52	62
3 1/2"	89	27	30	34	39	47	55
3"	76	23	26	29	33	39	48
2 1/2"	64	20	22	24	28	32	39
2"	51	16	18	20	22	26	31
1 3/4"	44	15	16	17	20	23	26
1 1/2"	38	13	14	15	17	20	23
1 1/4"	32	11	13	13	15	17	19
1"	25	10	11	11	13	14	16
3/4"	19	9	10	10	11	12	14
5/8"	16	8	9	9	9	10	12
1/2"	13	7	7	8	8	9	10

Tabela 2 – Capacidades de produção (Jawmaster 1312 HD).

JAWMASTER 1312 HD - SVEDALA							
CAPACIDADES DE PRODUÇÃO (t / h)							
Modelo	APF (pol.) →	10" (254)	9" (229)	8" (203)	7" (178)	6" (152)	5" (127)
1312 HD	—————	568	513	456	399	337	279

3.5.2. Britador Secundário

Para o exemplo de britagem secundária, o modelo escolhido foi o SVEDALA S 4000, que trabalhará com uma abertura variável, a ser definida pelo usuário do software.

O britador secundário é função da produção do britador primário, portanto, sua capacidade também tem que ser elevada, caso se necessite de uma maior relação de redução, essa produção será "sacrificada", portanto, ficará a critério do usuário decidir qual a melhor opção de acordo com o seu objetivo.

Nas empresas produtoras de agregado graúdo para construção civil, o conjunto formado pelo britador 1312HD / S 4000 é o mais difundido, sendo, portanto a melhor escolha para o nosso caso.

A seguir seguem as curvas granulométricas e as capacidades de produção dos britadores S 4000.

Tabela 3 – Curvas granulométricas (S 4000)

BRITADOR S 4000 - SVEDALA								
	APF (pol.) →	2 (51)	1 3/4 (44)	1 5/8 (41)	1 3/8 (35)	1 1/4 (32)	1 3/16 (29)	1 (25)
abertura (pol.)	abertura (mm)	% passante acumulada	% p.a.	% p.a.	% p.a.	% p.a.	% p.a.	% p.a.
3 1/2	89	100						
3	76	95	100					
2 1/2	64	85	95	100	100			
2	51	63	75	85	94	100	100	
1 3/4	44	55	65	74	86	93	98	100
1 1/2	38	48	58	68	78	85	92	97
1 1/4	32	33	42	50	62	68	76	85
1	25	27	32	40	49	54	63	72
3/4	19	21	25	31	38	43	50	58
5/8	16	16	20	23	30	32	38	42
1/2	13	14	16	18	23	26	30	34
3/8	9,5	11	13	14	18	20	23	27
5/16	8,0	10	12	13	17	19	21	24
1/4	6,0	9	10	11	14	15	18	19
3/16	4,8	7,5	9	10	12	13	16	18
1/8	3,2	6	7	8	9,5	10	12	13
10#	1,7	4	5	5	8	9	9,5	11
20#	0,8	3,5	4	4	5	6	6,5	7

Tabela 4 – Capacidades de produção (S 4000)

SVEDALA - S4000									
CAPACIDADES DE PRODUÇÃO (t/h)									
Modelo	Câmara	APF (mm) →	1 (25)	1 3/16 (29)	1 1/4 (32)	1 3/8 (35)	1 5/8 (41)	1 3/4 (44)	2 (51)
S4000	C (GROSSO)	—	220	275	293	348	435	460	465

3.5.3. Britador Terciário

Analogamente foram colocados outros britadores para possível britagem terciária. As curvas de todos os britadores e suas aberturas podem ser visualizadas dentro do software ao abrir a caixa de seleção de britadores.

3.6. Peneiras

As peneiras utilizadas possuirão apenas 1 deck, que poderá ter sua malha alterada pelo usuário. Um problema encontrado foi que na redistribuição, algumas malhas ficavam com valor negativo, pois a distribuição granulométrica dos produtos possui malhas muito próximas umas das outras, por isso, foram adotados valores proporcionais para essa distribuição, evitando que isso ocorra.

4. PROGRAMAÇÃO

Neste capítulo será demonstrada a forma com que o programa utilizará os dados e os aplicará na obtenção de resultados. Como a ênfase do trabalho são os parâmetros, os métodos e o raciocínio que serão utilizados, a linguagem de programação não será abordada em detalhes, já que se trata apenas de uma ferramenta para executar os cálculos desejados, dentro de uma apresentação condizente com o software.

4.1. Programação da Britagem

Para executar os cálculos, o programa necessita das curvas granulométricas de cada britador, suas respectivas aberturas e as capacidades nominais de produção, todos já pré-definidos, não sendo necessário que o usuário os forneça.

O programa começa de uma figura de alimentação (simbolizada por um caminhão), com a vazão de alimentação definida em 100 para que todos os cálculos representem porcentagens de um valor genérico de utilização é iniciado o cálculo do fluxo de saída da alimentação. O fluxo de saída receberá os valores da curva granulométrica da abertura escolhida (para britadores e peneiras) e será encaminhado para a próxima operação. Portanto, simplificada, os britadores apenas trocam os valores dos vetores que chegaram até ele, por novos valores de acordo com o britador e sua respectiva abertura, as peneiras dividem os vetores em fluxos de acordo com a malha de corte, os separadores separaram um vetor em dois de acordo com a partição escolhida pelo usuário e a união une dois fluxos em um só.

4.2. Programação do Peneiramento

Para minimizar o problema do valor negativo em algumas malhas dependendo do valor de eficiência escolhido, foi desenvolvido um método que redistribui o material que ficou no over, mas deveria ir para o underflow de uma forma proporcional tanto a fatores pré-determinados, quanto à sua vazão em toneladas por hora.

Abaixo segue uma planilha que demonstra os cálculos que serão realizados pelo programa e seus resultados finais. No exemplo, a alimentação é de 100 t/h, a eficiência é de 90% e a malha de corte é de 1" (polegada). A região em amarelo representa as malhas em que haverá a redistribuição de material.

Tabela 5 – Exemplo do cálculo da eficiência realizado pelo programa

Alimentação: 100 t/h			ALIMENTAÇÃO		"90% de Eficiência"			
abertura (pol)	%passante acumulada	%retida simples	oversize (t/h)	undersize (t/h)	fatores	y	oversize (t/h)	undersize (t/h)
2	100	0	0,00	-	-	-	0,00	-
1 3/4	98	7	7,00	-	-	-	7,00	-
1 1/2	85	8	8,00	-	-	-	8,00	-
1 1/4	68	17	17,00	-	-	-	17,00	-
1	54	14	14,00	-	-	-	14,00	-
3/4	43	11	-	11,00	6,00	3,14	2,00	9,00
5/8	32	11	-	11,00	5,00	2,62	1,66	9,34
1/2	26	6	-	6,00	4,00	1,14	0,73	5,27
3/8	20	6	-	6,00	3,00	0,86	0,54	5,46
5/16	19	1	-	1,00	2,00	0,10	0,06	0,94
1/4	15	4	-	4,00	1,00	0,19	0,12	3,88
3/16	13	2	-	2,00	-	-	-	2,00
1/8	10	3	-	3,00	-	-	-	3,00
10#	9	1	-	1,00	-	-	-	1,00
20#	6	3	-	3,00	-	-	-	3,00
-20#		6	-	6,00	-	-	-	6,00
total	—	100	46,00	54,00	-	-	51,11	48,89

eficiência %	90	eficiência sobre under (%)	90,53
oversize (t/h)	51,11		
distribuição (t/h)	5,11		

x = (100/soma fatores)	4,76		
y = [(under*fator)/100]		por malha	
z = (soma(y))	8,05		
over = (y/z)*distribuição		por malha	

Será utilizado a Tabela 5 para demonstrar como serão feitos os cálculos pelo programa. Abaixo seguem todos os passos dos cálculos:

1º) A partir da “% passante acumulada” do produto que chega ao deck da peneira, calcula-se a “% retida simples” em cada malha.

Ex: Malha de 1 3/4”: $100 - 93 = 7\%$ retido

2º) Sabendo-se a alimentação em toneladas por hora, obtemos a massa que fica retida em cada malha, multiplicando-se esse valor pela “% retida simples”.

Ex: Malha de 1”: $100 \times 0,14 = 14\text{ t/h}$

3º) Separa-se o material em “oversize” e “undersize” na alimentação e calcula-se a sua soma.

Ex: oversize = $0 + 7 + 8 + 17 + 14 = 46\text{ t/h}$

4º) Com o valor do oversize em mãos, aplica-se a eficiência e obtém-se a quantidade de material que será redistribuído.

Ex: 46 t/h (oversize alimentação) = $51,11\text{ t/h}$
0,90 (eficiência)

material a ser redistribuído: $51,11 - 46 = 5,11\text{ t/h}$

5º) Com a malha de corte definida pelo usuário, definimos o número de malhas que serão responsáveis pela ineficiência. Conforme dito anteriormente, são as malhas com abertura até 1/4 da malha de corte, sendo que as que estão mais próximas desse valor, devem possuir maior quantidade de material presente no oversize.

*Ex: malha de corte = 1"; 1/4 da malha de corte = 1/4";
Portanto, temos 6 malhas entre, são elas: 3/4", 5/8", 1/2", 3/8", 5/16" e 1/4".*

6º) Serão criados fatores de multiplicação que irão desde a quantidade de malhas que terão seus valores modificados, até 1, ou seja, esses fatores distribuirão o material de uma forma proporcional à sua proximidade da malha de corte, quanto mais próxima, mais material deverá ficar retido no oversize da peneira e vice-versa.

Ex: como temos 6 malhas, a malha de 3/4" terá um fator igual a 6, a próxima malha (5/8") terá um fator igual a 5 e assim por diante até a última malha (1/4") que terá valor igual a 1.

7º) O próximo passo é determinar um novo fator que será chamado de "y", que será um fator que estabelecerá uma proporcionalidade entre a quantidade distribuída e a vazão de cada malha, tentando minimizar valores negativos na redistribuição. Sua fórmula é a seguinte:

$$y = \frac{\text{under alimentação} \times \text{fator}}{\text{soma dos fatores}}$$

8º) Com os fatores e os valores de "y" calculados para cada malha, agora será feita a redistribuição no oversize do material que ficou retido, mas deveria passar. Ela será feita da seguinte forma:

$$\text{oversize} = [y / (\text{somatória de } y)] \times \text{material a ser redistribuído}$$

Ex: para a malha de 3/4": (3,14/8,05) x 5,11 = 2,00 t/h

9º) Agora basta calcular o undersize subtraindo o undersize da alimentação do oversize da peneira.

Ex: para a malha de 5/8": 11-1,66 = 9,34 t/h para o undersize da peneira

10º) Por fim, com a redistribuição feita, obtemos o novo valor para o oversize e para o undersize da peneira.

Com esses cálculos, percebemos que a distribuição está coerente com aquilo que se desejava, pois nas malhas mais próximas das malhas de corte, há uma maior porcentagem de material retido, conforme é demonstrado a seguir na Tabela 6.

Tabela 6 - % de material no oversize em função da abertura da peneira

abertura (pol)	% material no oversize
3/4	18,15
5/8	15,12
1/2	12,10
3/8	9,07
5/16	6,05
1/4	3,02

4.3. Programação da lógica

Em fluxogramas onde há apenas um caminho lógico a ser seguido a programação é relativamente fácil, seguindo o “caminho” do fluxo e calculando os equipamentos é possível chegar aos produtos. Já nos casos abordados por este programa, é possível criar múltiplos caminhos que se unem antes de um produto, cargas circulantes e separações de fluxos antes de um equipamento.

Sendo assim foi necessário o desenvolvimento de uma técnica para o cálculo de múltiplos fluxos de acordo com as informações disponíveis em cada momento. Podemos considerar esta parte como a mais complexa no campo intelectual que está presente neste trabalho.

O algoritmo funciona da seguinte maneira: foram criadas duas filas para a ordem dos cálculos a serem executados. Partindo de uma alimentação o primeiro fluxo é dado e com este fluxo são calculados os fluxos subsequentes, no caso de um equipamento gerar mais de um fluxo é necessário escolher um dos fluxos para ser calculado primeiro, entrando ele na fila de cálculo e os outros fluxos na fila de espera. O programa então calcula o primeiro fluxo e atualiza as filas de cálculo (adicionando o próximo fluxo a ser calculado) e de espera (adicionando os fluxos que estão em sequência do primeiro fluxo).

Em certos momentos (principalmente em uniões) existem situações onde um dos fluxos necessários para o cálculo do equipamento não foi calculado ainda, então o programa recoloca tal fluxo no último lugar da fila de cálculo e calcula os outros fluxos da fila para depois retornar ao fluxo que não era possível ser calculado no momento inicial.

Com este sistema de filas ainda surge um terceiro problema, no caso de cargas circulantes. Foi desenvolvido então um contador para cada fluxo e esta foi a maneira de determinar os fluxos que são carga circulante. Se um fluxo aparece na fila de cálculo, é calculado e reaparece por 3 vezes ele é considerado como carga circulante e então seus valores são armazenados para comparação com um próximo passo de forma a calcular este fluxo até que atinja uma margem de erro aceitável (0,001).

5. SOFTWARE

Neste capítulo será demonstrado o software, como utilizá-lo e os resultados obtidos. A programação foi feita em Visual Basic e executará exatamente os cálculos definidos acima, tanto para os britadores quanto para as peneiras. O nome do software será “PROFLUX”.

5.1. Utilização do software

Primeiramente será necessária a instalação do software, por isso foi criado um aplicativo de instalação chamado “Setup” que o instalará automaticamente, bastando apenas seguir as informações contidas na tela.

Com o programa instalado, ele estará pronto para ser utilizado. Na página inicial (ver Figura 7) estarão contidos o fluxograma e todos os botões para a formação do processo definido pelo usuário. Esses campos serão compostos por:

- Alimentação;
- Britadores;
- Separadores de fluxo;
- Peneiras;
- União de fluxos;
- Produtos;

Com esses botões o usuário faz a inserção do processo desejado e quando estiver feliz com o resultado clica no botão “CALCULAR” para obter os produtos gerados pelo fluxograma determinado. Não houve preocupação com o acontecimento de casos onde um equipamento não está conectado a nenhum outro, pois o intuito do software não é comercial e considerar tais casos traria benefícios muito baixos para um custo muito alto de programação. Foi definido que a “partição de fluxo” é o valor em porcentagem da quantidade de material que irá para o fluxo da esquerda do separador.

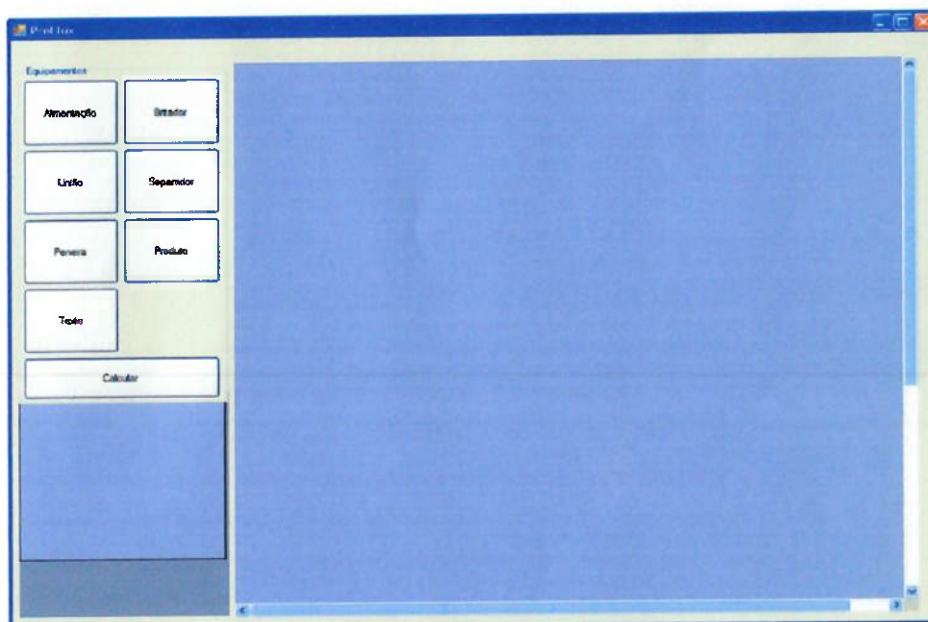


Figura 7 – Página Inicial

5.2. Inserindo os dados

5.2.1. Alimentação:

Clicando no botão alimentação automaticamente a figura de um caminhão aparecerá na tela. Esse símbolo representa o começo do processo produtivo e terá como valor padrão 100 unidades, sendo todas as curvas seguintes relativas a este parâmetro.

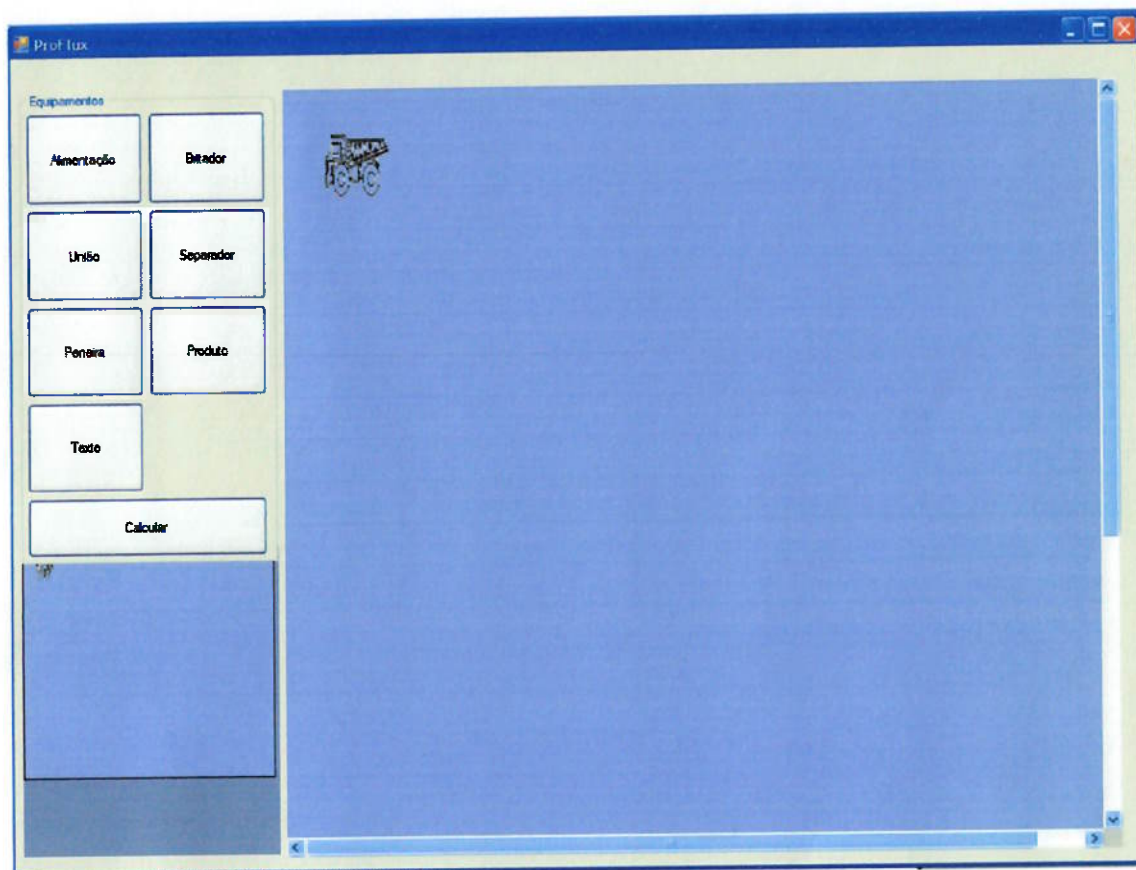


Figura 8 – Inserindo alimentação.

5.2.2. Britadores:

Clicando no botão britador, surgirá uma tela mostrando as opções de britadores disponíveis para o fluxograma, clicando em cada modelo poderá ser vista uma lista de dados sobre o britador, as possíveis aberturas e a distribuição de cada curva.

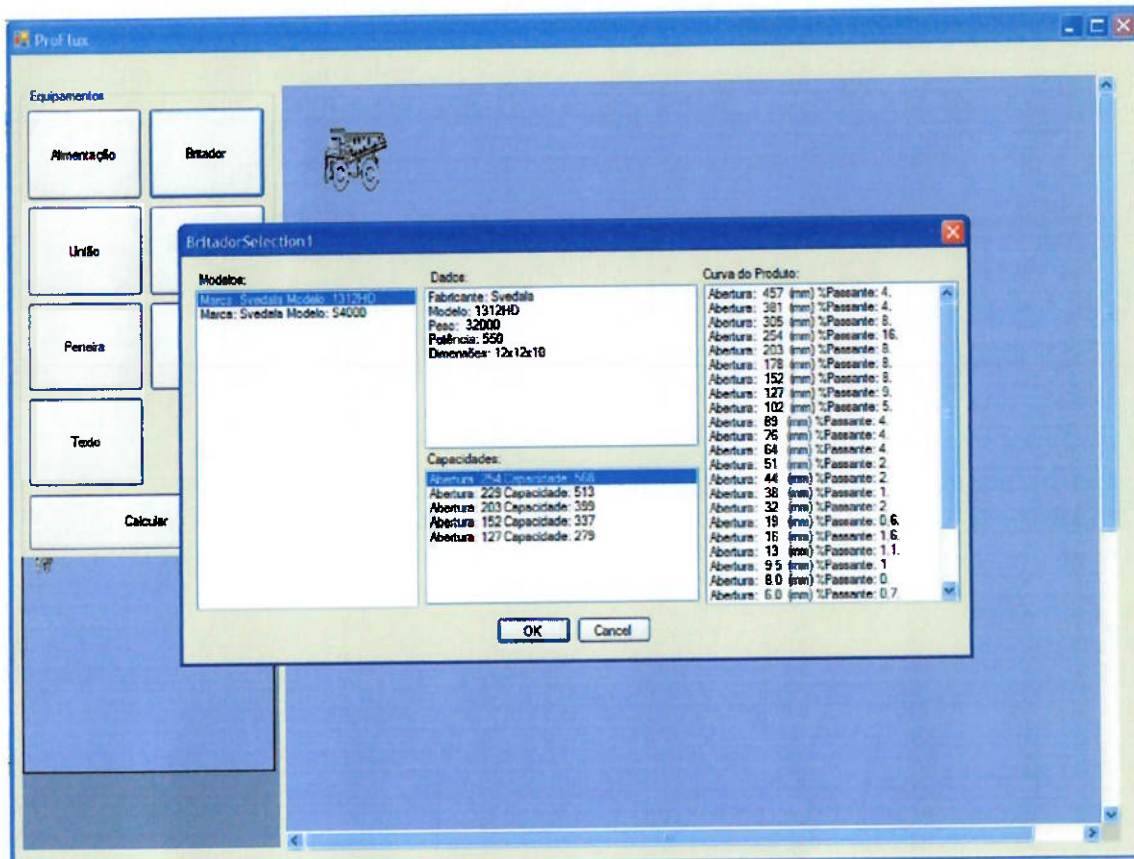


Figura 9 – Inserindo um britador.

5.2.3. União e Separadores:

Para inserir uma união não é necessário nenhum parâmetro pois este processo só unirá dois fluxos para a formação de um novo fluxo. Já o separador apresentará uma pequena caixa de escolha para a partição que será enviada para o lado esquerdo.

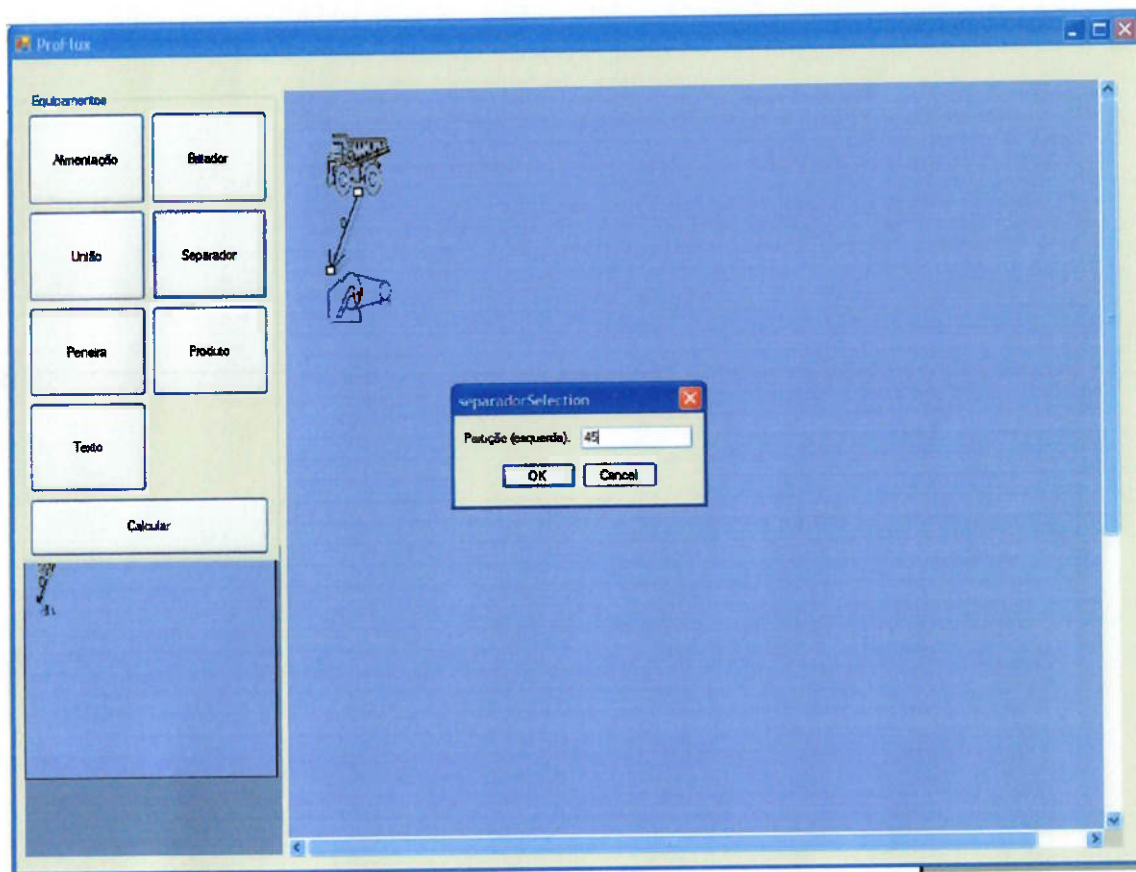


Figura 10 – Inserindo um separador.

5.2.4. Peneiras:

Ao clicar no botão peneira surgirá uma tela para selecionar a malha da peneira e sua área. Estão disponíveis as opções compatíveis com as curvas granulométricas padrões utilizadas pelo programa.

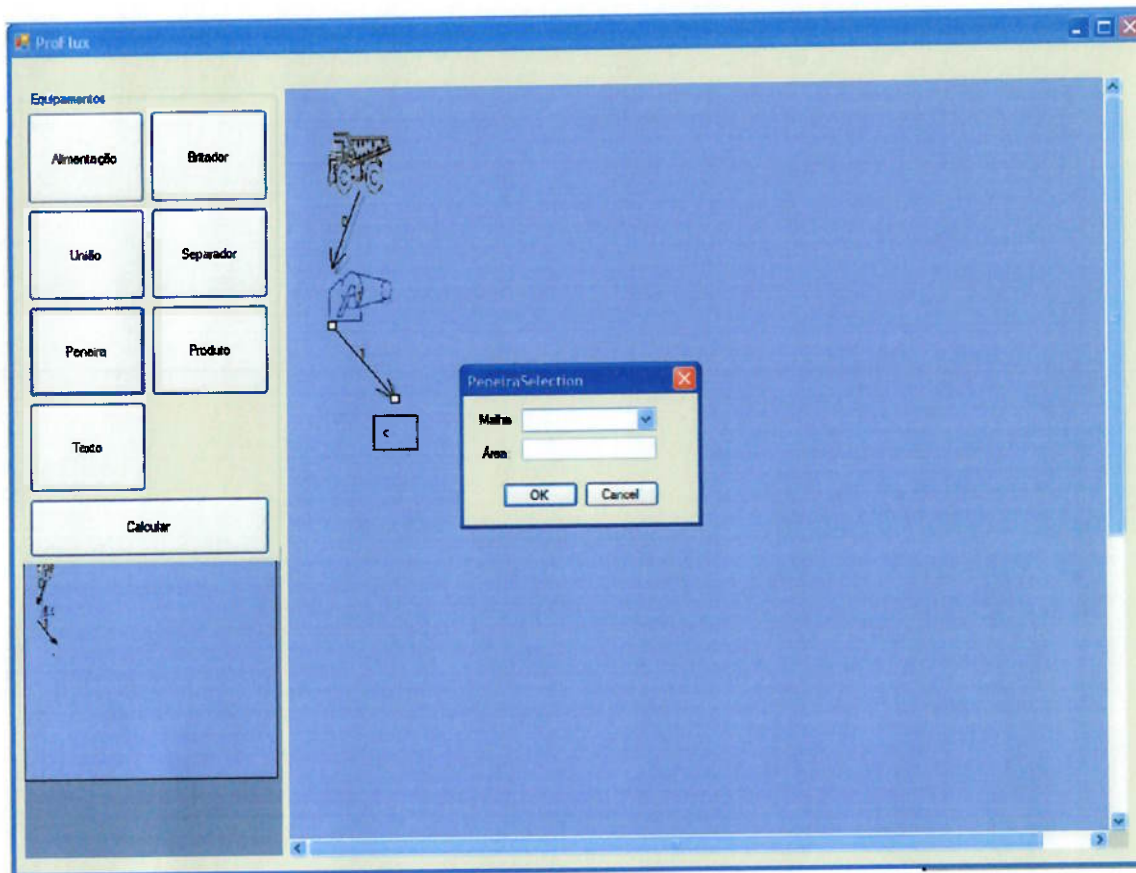


Figura 11 – Inserindo uma peneira.

5.2.5. Produtos:

Cada produto será representado por uma pilha, para adicionar um produto é necessário colocar um nome. Este nome aparecerá na apresentação dos resultados após o término do fluxograma e o clique no botão “Calcular”. Um produto só pode receber um fluxo, mas se for necessário enviar mais de um fluxo para um produto apenas utilize uma “União” de fluxos antes do produto.

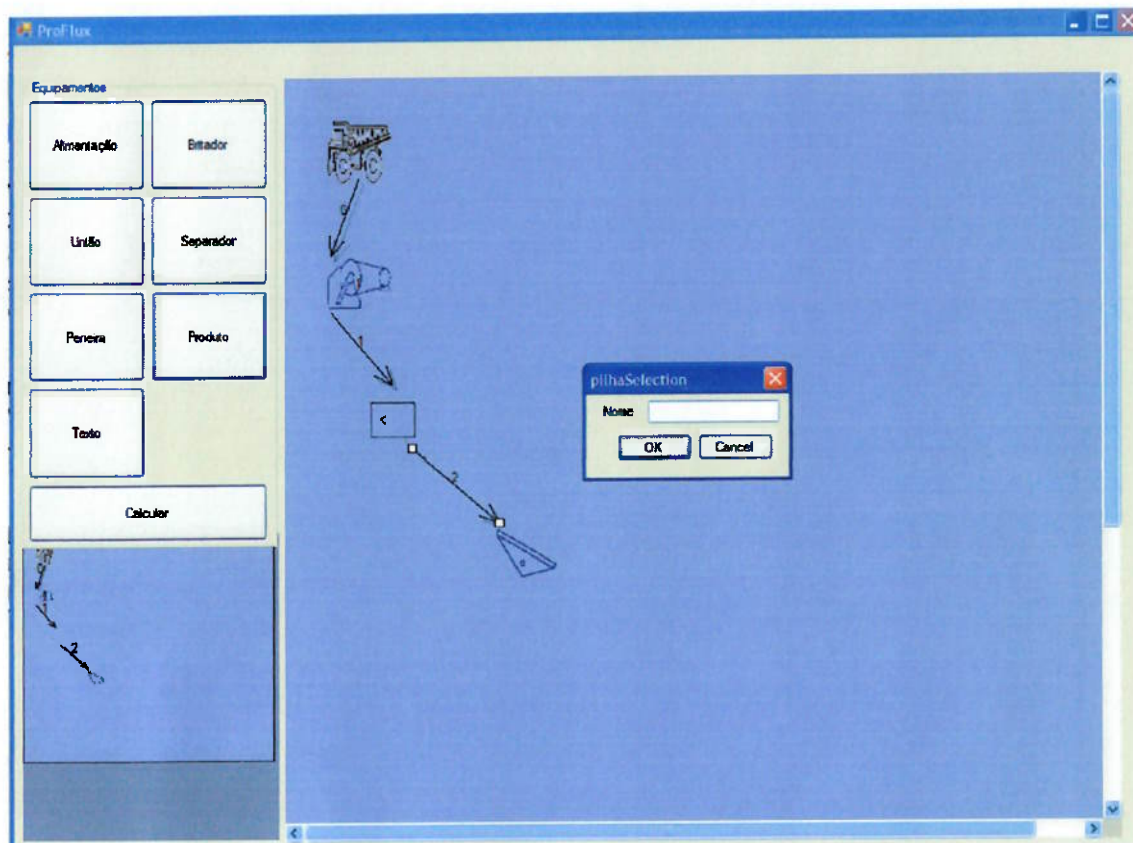


Figura 12 – Inserindo um produto.

5.2.6. Texto e finalização do fluxograma:

Ainda é possível inserir caixas de texto para identificar os blocos e assim deixar o fluxograma com uma compreensão mais fácil. É possível redimensionar os tamanhos das caixas de texto de modo a deixar o fluxograma com aparência limpa e compreensível. Segue foto do exemplo mostrado na sequência com a adição de 3 tipos de produtos e as suas respectivas caixas de texto.

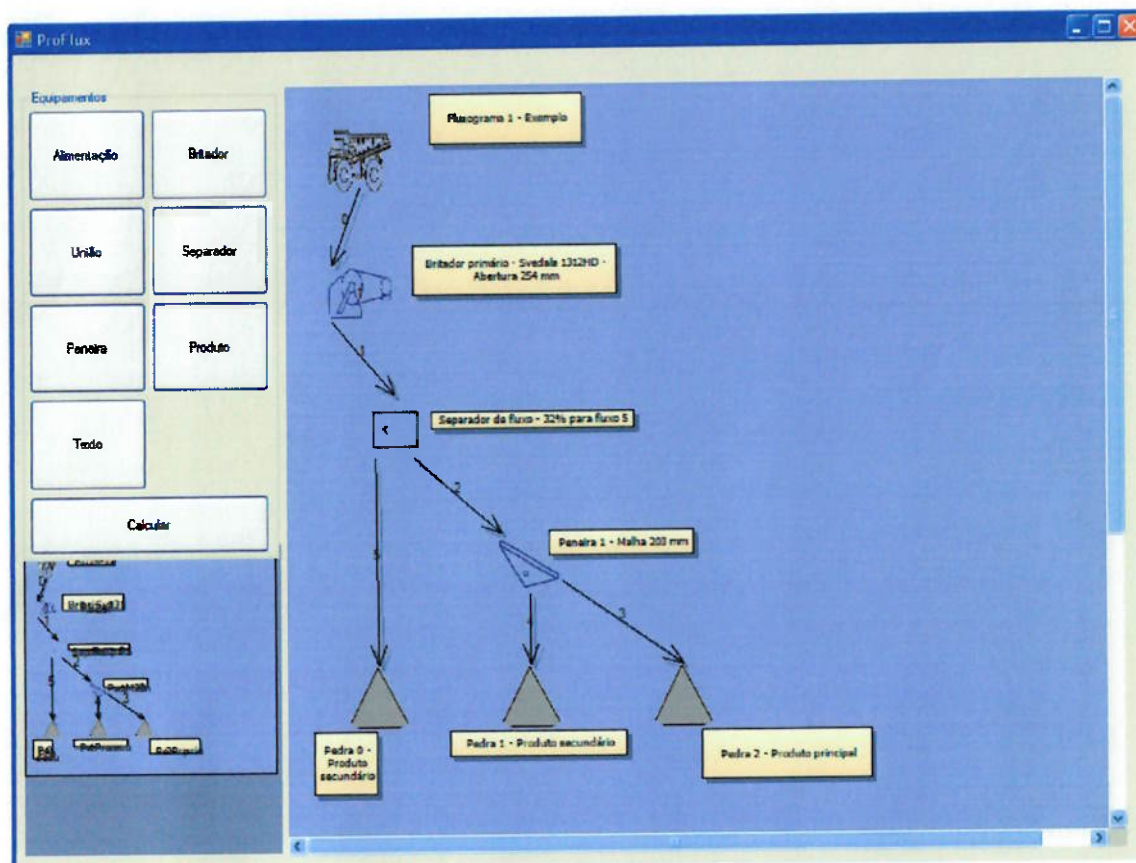


Figura 13 – Fluxograma exemplo com textos.

Após a inserção do fluxograma e os dados de cada equipamento escolhido, podemos clicar no botão “Calcular” para exibir a tela dos resultados. Clicando no nome dos produtos é possível ver sua distribuição, sua vazão e o nome que foi escolhido.

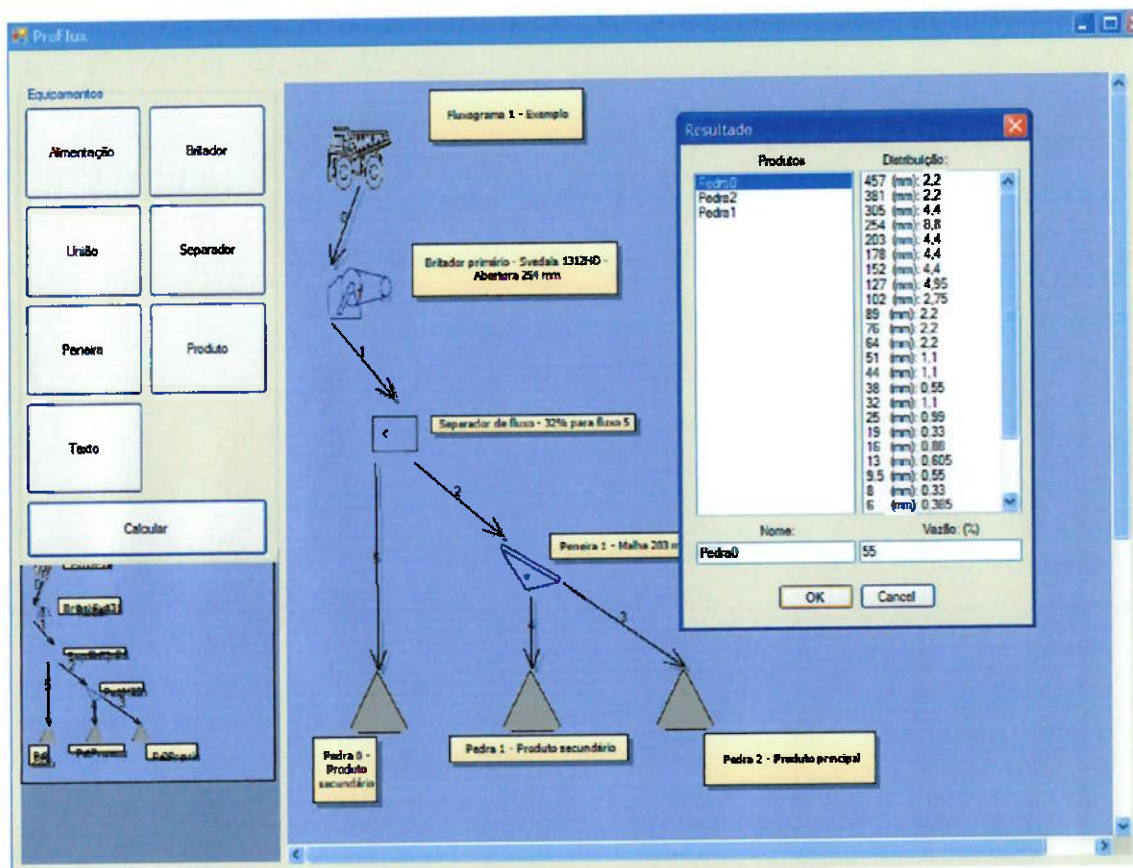


Figura 14 – Apresentando os resultados.

6. RESULTADOS OBTIDOS

O mercado de agregado graúdo para construção civil é muito dinâmico, não existe uma demanda fixa para cada tipo de produto, a construção de uma nova obra, como uma rodovia, por exemplo, pode alterar a necessidade de produção de certo produto. Com este software, a simulação dessas situações é simplificada, facilitando a obtenção da melhor regulação do sistema para suprir essa demanda.

Também é válido lembrar que muitas vezes as alterações em circuitos de britagem são feitas na “experiência” de funcionários. Essa prática não só é menos eficiente, mas também deixa um grau de indeterminação no processo que podem excluir possibilidades de negócios pela falta da informação sobre a capacidade real de produzir produtos com diferentes configurações.

7. CONCLUSÃO

A principal vantagem deste software para simulação de um circuito de britagem e classificação é a velocidade com que se pode realizar diversas alterações na regulação dos equipamentos presentes no sistema. Desta forma, diversas variáveis podem ser analisadas, até a obtenção do ponto considerado como ideal para uma determinada situação, em um curto espaço de tempo. Em uma simulação convencional, para cada dado alterado há a demanda de uma excessiva quantidade de cálculos, o que é minimizado com a utilização deste programa.

A utilização do software exige que o usuário tenha um conhecimento do processo e dos conceitos de britagem e classificação, pois as variáveis envolvidas, e passíveis de serem modificadas são elevadas. Caso falte conhecimento, o usuário provavelmente não conseguirá alcançar o objetivo ou não potencializará as ferramentas existentes, pois a substituição de apenas uma variável pode alterar diversos parâmetros do processo, sendo necessária uma nova análise.

Por se tratar de uma simulação, os valores obtidos no programa não podem ser considerados como sendo um retrato fiel do que está ocorrendo no circuito em tempo real, pois as curvas granulométricas dos britadores são valores que podem variar em função de algumas variáveis, umas intrínsecas e outras externas aos equipamentos. As peneiras também podem ter sua eficiência modificada de acordo com o tamanho e fator forma da partícula a ser separada, dentre outros parâmetros. Em contrapartida, os valores obtidos são confiáveis quando confrontados com aqueles obtidos através de simulações convencionais, pois foram realizados exaustivos testes que comprovaram a eficácia do programa.

Nem sempre será possível encontrar uma situação ideal para os equipamentos existentes, já que o circuito não será capaz de realizar determinada partição por deficiências pré-existentes no fluxograma. Essa pode ser considerada uma vantagem, pois a simulação localizará os pontos críticos que deverão ser modificados para se atingir a maximização tanto da produção quanto da qualidade dos produtos gerados.

É importante lembrar que este programa é uma generalização de um estudo de caso anterior e está sujeito a novas melhorias para incluir moagem, flotação e qualquer outro processo envolvido no processo de beneficiamento mineral. Seria interessante aumentar o número dos processos existentes no programa e refinar ainda mais os métodos de cálculo desenvolvidos aqui. Outros estágios de desenvolvimentos estão projetados e aqui é apresentado um primeiro e grande passo em direção a um software nacional.

Assim, futuramente um software direcionado para determinada instalação, pode suprir as necessidades básicas das empresas e dos profissionais dedicados à produção de agregado graúdo para a construção civil.

8. BIBLIOGRAFIA

- BRAGA, W. **Visual Basic 6: para trainees**. Rio de Janeiro: Book Express, 2000, 265 p.
- BRITADORES CÔNICOS FURLAN. São Paulo: Furlan, p. 1-3.
- BRITADORES DE MANDÍBULAS SÉRIE C. São Paulo: Nordberg, p. 5-6.
- BRITADORES HYDROCONE SÉRIE MIL E OITOCENTOS: Tipo H & S. São Paulo: Sandvik, p. 13-16.
- CARRISSO R.C.C.; CORREIA J.C.G. Classificação. In: LUZ A.B. et al. **Tratamento de Minérios**. 3ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002, p. 216-235.
- CHAVES A.P.; PERES A.E.C. Britagem. In: CHAVES A.P.; PERES A.E.C. **Teoria e prática do tratamento de minérios: Britagem, Peneiramento e Moagem**. 1ª ed. São Paulo: Signus Editora / Brasil Mineral, 1999, vol 3, p. 425-510.
- CHAVES A.P.; PERES A.E.C. Peneiramento. In: CHAVES A.P.; PERES A.E.C. **Teoria e prática do tratamento de minérios: Britagem, Peneiramento e Moagem**. 1ª ed. São Paulo: Signus Editora/Brasil Mineral, 1999, vol 3, p. 511-528.
- FIGUEIRA H.V.O.; ALMEIDA L.M. Cominuição. In: LUZ A.B. et al. **Tratamento de Minérios**. 3ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002, p. 113-150.
- MANUAL DE BRITAGEM FAÇO. 5ªed. São Paulo: Allis, 1994, p. 2.01-2.85.
- NASCHENVENG A.C. **Modelagem e Simulação do circuito de Moagem da Ultrafértil**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, 2003. (Dissertação - Mestrado).
- REBRITADOR CÔNICO FURLAN. São Paulo: Furlan, 5 p.
- REBRITADORES OMNICON. São Paulo: Nordberg, 6 p.
- SIRIANI F.A. **Método de Dimensionamento de Peneiras para a Classificação Granulométrica de Rochas ou Minérios**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1991. (Tese – Livre Docência).
- O MAIS COMPLETO GUIA DE VISUAL BASIC; Clayron Walnum, São Paulo 2002.