

## 5 Procedimento Experimental

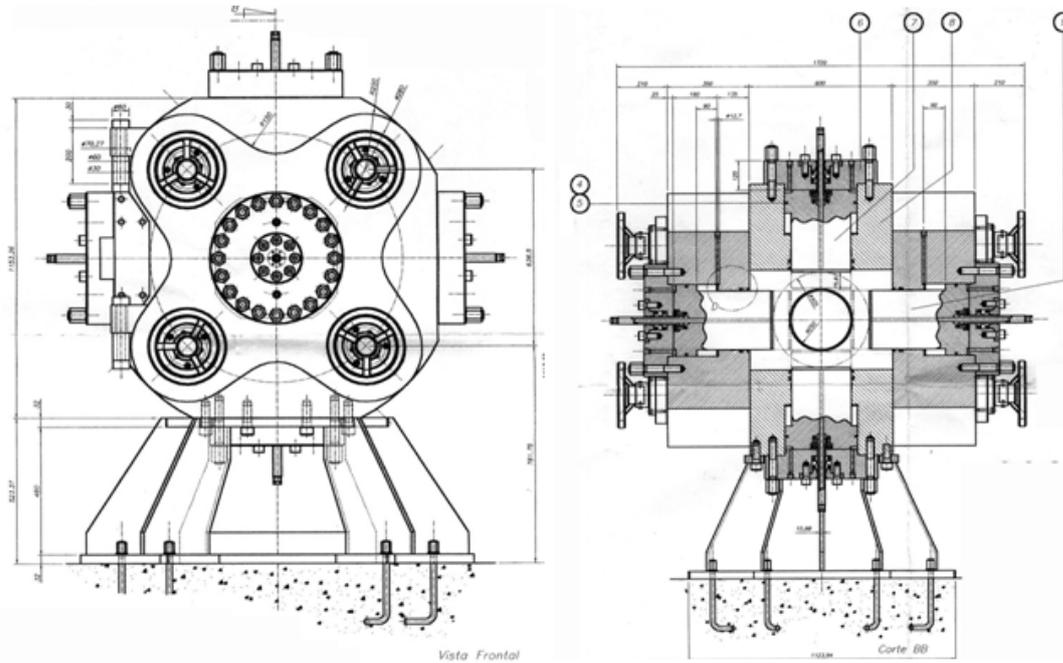
### 5.1. Introdução

Blocos sintéticos de grandes dimensões com um furo centralizado foram utilizados para a execução dos ensaios, sendo o primeiro o *breakout*, depois o sistema *gravel-tela centralizada e encostada*, ambas com um tipo determinado de granulometria de *gravel pack*, e no ensaio final o tipo *stand alone* com o tubo encostado dentro do furo. O sistema de contenção foi constituído basicamente por um empacotamento de *gravel pack*, tubos instrumentados com sensores, e para a medição dos deslocamentos foi instalado um transdutor de deslocamentos radiais alinhado ao eixo do furo.

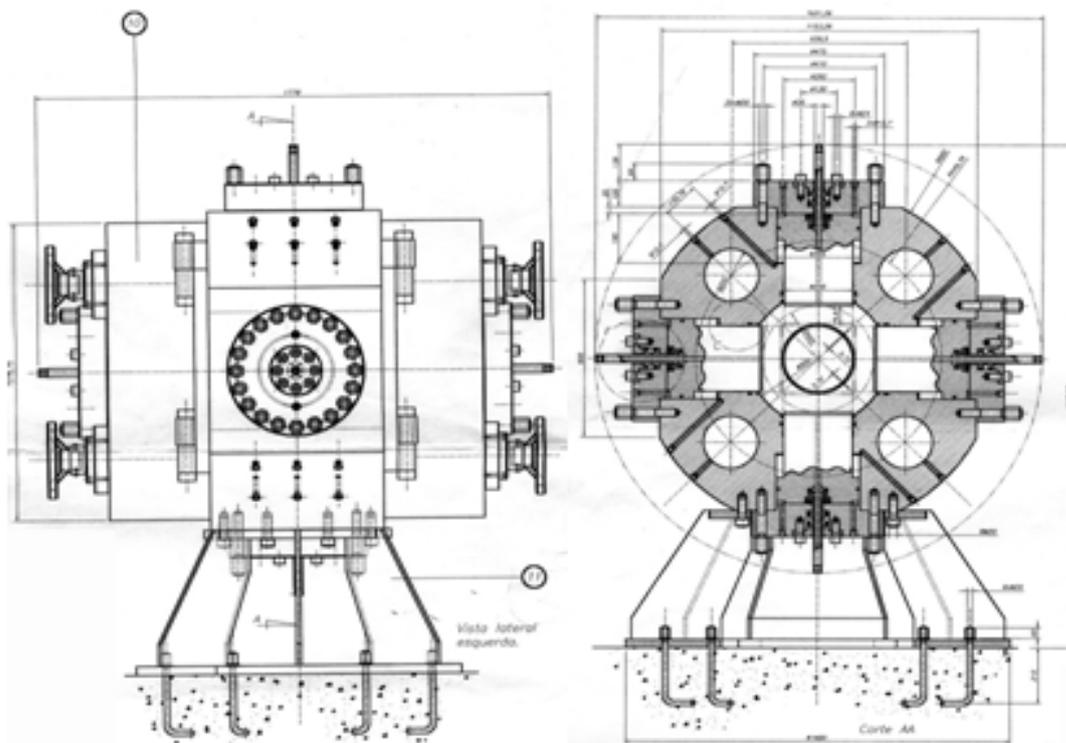
### 5.2. Célula Cúbica

O equipamento para a aplicação de cargas consiste de seis pistões cada um com um atuador ou placa, que permitem a aplicação de carregamentos que são independentes nos três eixos da célula, sendo a carga máxima por cada pistão de 62,54 MPa. Possui duas unidades de bombas, a principal que permite aplicar carregamentos maiores e a secundária que é utilizada para cargas menores, como médio de controle são utilizadas válvulas que permitem o fluxo de entrada e saída de líquidos no sistema. A câmara foi projetada para suportar corpos de prova cúbicos de até 30×30×30 cm. Um esquema do projeto da célula está apresentado nas Figuras 5.1 (a) a (d), Bloch (2003).





(c) Vista frontal e corte.



(d) Vista lateral e corte.

Figura 5.1 – Detalhes da célula cúbica (Bloch, 2003).

### 5.2.1. Sistema de Válvulas

O sistema de controle está composto por 26 válvulas que são utilizadas tanto com a bomba principal como com a bomba secundária, como mostra a Figura 5.2 e o esquema na Figura 5.3. As válvulas são operadas manualmente, o Quadro 5.1 mostra as linhas de acionamento da Célula Cúbica.

Quadro 5.1 – Definição das linhas hidráulicas de acionamento da Célula Cúbica (Bloch, 2003).

Eixos de direção	Linha de alta pressão	Linha de baixa pressão	Linha de Dreno
	Movimentação dos pistões para comprimir a amostra	Movimentação de retorno dos pistões	
X	$X^+_e ; X^-_e$	$X^+_r ; X^-_r$	$X^+_d ; X^-_d$
Y	$Y^+_e ; Y^-_e$	$Y^+_r ; Y^-_r$	$Y^+_d ; Y^-_d$
Z	$Z^+_e ; Z^-_e$	$Z^+_r ; Z^-_r$	$Z^+_d ; Z^-_d$



Figura 5.2 - Válvulas para acionamento da Célula Cúbica.

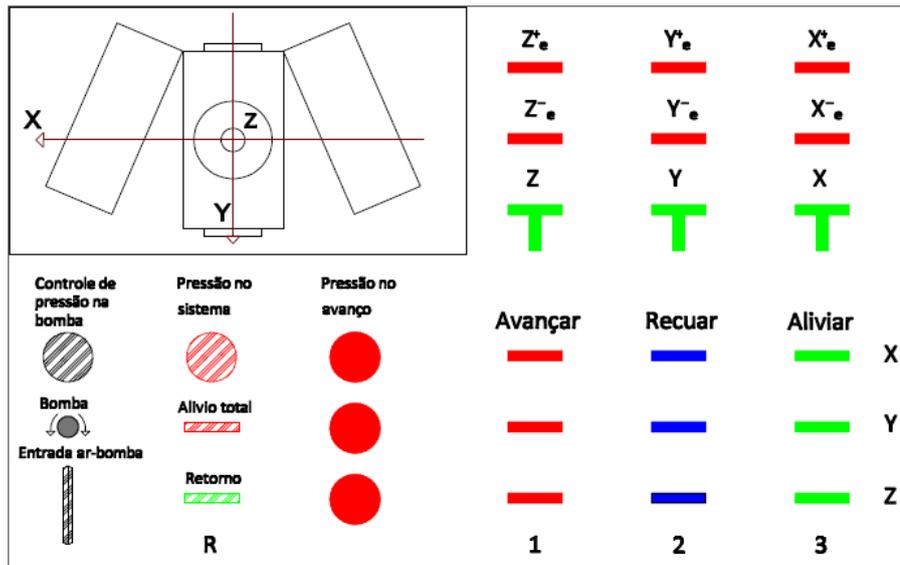


Figura 5.3 – Esquema do funcionamento das válvulas (Bloch, 2003).

A célula cúbica dispõe de duas bombas, uma secundária que é utilizada no início do ensaio por ser mais rápida para encostar os atuadores nas faces do bloco, além de aplicar pressão de até 1000 psi aproximadamente, o manômetro desta bomba permite leituras com precisão de  $\pm 20$ psi (Figura 5.4), e a bomba principal que é utilizada para aplicar pressões a mais de 1000 psi, este sistema admite realizar leituras com precisão de  $\pm 200$ psi.

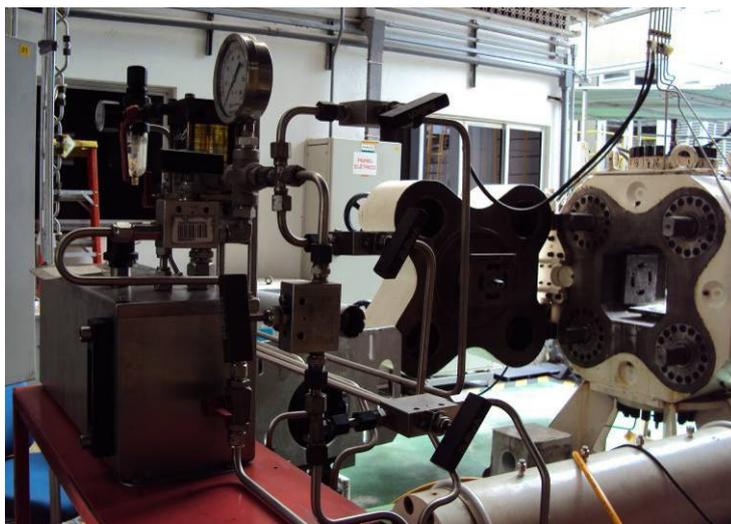


Figura 5.4 – Válvulas da bomba secundária.

### 5.3. Confeção dos Corpos de Prova

Corpos de prova (CP) sintéticos foram utilizados para representar o material em estudo, devido á falta de amostras reais de grandes dimensões de arenito provenientes de formações a grandes profundezas, e pelos elevados custos para sua aquisição.

Para a confecção dos corpos de prova (CP) foi utilizado o traço de Villarroel (2009) com a mesma porcentagem granulométrica de areia, tamanho de cubo com 30 cm de aresta e furo centralizado de 6 cm de diâmetro, as dimensões tinham como finalidade amenizar a influencia do furo na alteração do estado de tensão original da formação; reduzida a partir de distâncias 4 a 8 vezes o seu raio.

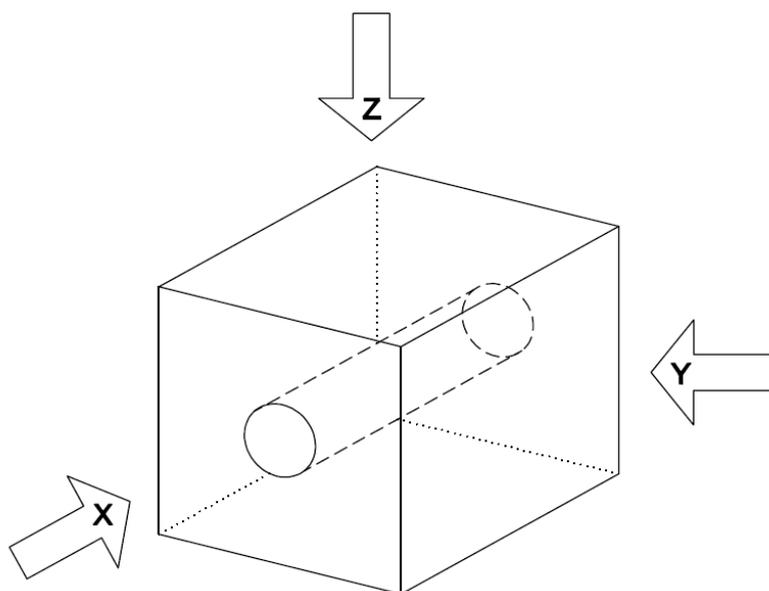


Figura 5.5 – Direções de aplicação de cargas no bloco e posição do furo.

No total 18 CPs foram confeccionados, o primeiro grupo de três foi no CENPES e os seguintes no Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ, onde se tinha disponibilidade do equipamento apropriado para a fabricação dos CPs. A figura 5.6 mostra os moldes e os CPs.



Figura 5.6 – Corpos de prova sintéticos com as respectivas formas.

Villarroel (2009) para determinar o traço mais representativo de um arenito pouco consolidado, testou vários traços executando ensaios de resistência à compressão uniaxial, obtendo o seguinte traço em volume: 1,0: 5,0: 2,4 de cimento, areia e água respectivamente. A areia com intervalo granulométrico variando de muito fina a grossa, a granulometria e quantidade de areia para cada bloco foi material retido na peneira (#100 - 50%), (#50 - 30%) e (#30 - 20%), e o cimento utilizado foi o MAUÁ CPII-F-32.

Cada grupo de bloco confeccionado teve os respectivos corpos de prova cilíndricos para os ensaios de caracterização, com dimensões de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Os ensaios foram de resistência à compressão uniaxial, ensaio triaxial convencional e o brasileiro.

Os valores considerados na seguinte tabela são dos corpos de prova cúbicos utilizados e foram ensaiados no Laboratório de Mecânica das Rochas do CENPES. Estes valores encontram-se na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Propriedades do arenito sintético

Parâmetro	Resultado
Ângulo de Atrito	28 °
Coesão	5,51 MPa
Módulo de Elasticidade	8,4 GPa
Coefficiente de Poisson	0,27

Os corpos de prova cúbicos foram preparados e moldados na COPPE/UFRJ no Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil, os equipamentos utilizados foram betoneira, mesa vibradora e ambiente climatizado, cada bloco teve três camadas, sendo cada uma vibrada, depois foram deixados para a cura com os respectivos corpos de provas cilíndricos.

## 5.4. Especificações e Instrumentação dos Tubos

### 5.4.1. Propriedades Químicas e Mecânicas

As propriedades químicas e mecânicas foram obtidas de Villarroel (2009), devido a ter sido utilizado o mesmo tipo de tubo neste trabalho. A composição química do latão cromado apresenta a seguinte proporção entre os materiais constituintes: (Cu = 63.17%); (Pb = 0.0371%); (Fe = 0.0294%); Zn% = restante.

As propriedades mecânicas são indicadas na Tabela 5.2, que foram resultados de uma série de ensaios realizados nos tubos por Villarroel (2009).

Tabela 5.2 – Propriedades do tubo de latão (Villarroel, 2009).

Tensão de Ruptura	491,1	MPa
Escoamento	483,9	MPa
Espessura	0,52	mm
Módulo de Elasticidade	90,64	GPa
Coefficiente de Poisson	0,32	
Diâmetro interno	38	mm

### 5.4.2. Medição das Deformações Circunferenciais

As medições de deformações circunferenciais foram feitas utilizando *strain gage*, colados na superfície interna do tubo. Para essa colagem foi criado um

dispositivo que foi testado inúmeras vezes para garantir a correta aderência, nele foram usados dois *strain gage*, um no topo e o outro na lateral esquerda do tubo. O ideal seriam 4, mas pela dificuldade inicial se optou por dois para uma leitura válida.

O *strain gage* utilizado foi do modelo unidirecional *simples-forma tradicional* PA-06-250BA-120L da Excel Sensores, codificação que obedece às seguintes características:

PA:	Base de polymida com filme metálico de constatan.
O6:	Auto-compensação de temperatura, para aço.
250BA:	Tamanho e forma da grelha.
120L:	Resistência elétrica em ohms.

Na Figura 5.7, pode se observar os sensores instalados dentro do tubo onde os fios também foram colados para evitar danos nos sensores, por possíveis extensões dos mesmos fios.



Figura 5.7 – *Strain gage* colados na superfície interna do tubo.

### 5.4.3. Medição de Deslocamentos Radiais

Para medir os deslocamentos radiais do tubo foi empregado um transdutor que foi construído no Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil-PUC Rio.

#### 5.4.3.1. Construção do Transdutor de Deslocamentos

Neste instrumento foi empregado um suporte de metal em barra de seção circular. Para cada extremo foi fixado 4 lâminas alinhadas perpendicularmente a seu eixo, a cada 90 graus, que serviram de apoio no momento de introduzi-lo dentro do tubo. Outro grupo de 4 lâminas com dois extensômetros cada uma foram alocadas no médio do suporte, com a finalidade de medir as deformações radiais no interior do tubo.

Os 8 *strain gage* axiais foram do modelo PA-06-060CA-350L, onde:

PA: Base de polymida com filme metálico de constantan.

O6: Auto-compensação de temperatura, para aço.

060CA: Comprimento ativo da grelha e forma geométrica.

350L: Resistência elétrica em ohms.

Os sensores foram posicionados nas lâminas de modo a estarem submetidos a deformações de sinais contrários, como mostra a Figura 5.8. Para que estes possam somar-se eletricamente, considerando que os componentes de medição suportaram esforços de flexão. O circuito utilizado para os *strain gages* foi “*Ponte de Wheaststone*” por ter uma ligação de 4 sensores por cada *clip-gage*.

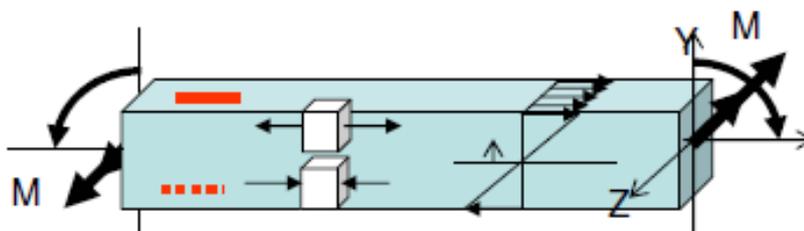


Figura 5.8 – Configuração de *strain gage* nas lâminas dos *clip-gage*.

Foram construídos dois transdutores, o primeiro com uma base de tubo de aço inox com rasgos como mostra a Figura 5.9, com o sistema de calibração.



Figura 5.9 – 1º transdutor de deslocamento e dispositivo de calibração.

O segundo transdutor utilizado nos ensaios foi construído com uma barra sólida de alumínio de menor diâmetro, que permitiu posteriormente uma melhor acomodação dos cabos do transdutor e dos *strain gages* colados no tubo. A Figura 5.10 mostra o 2º transdutor que foi utilizado nos ensaios.

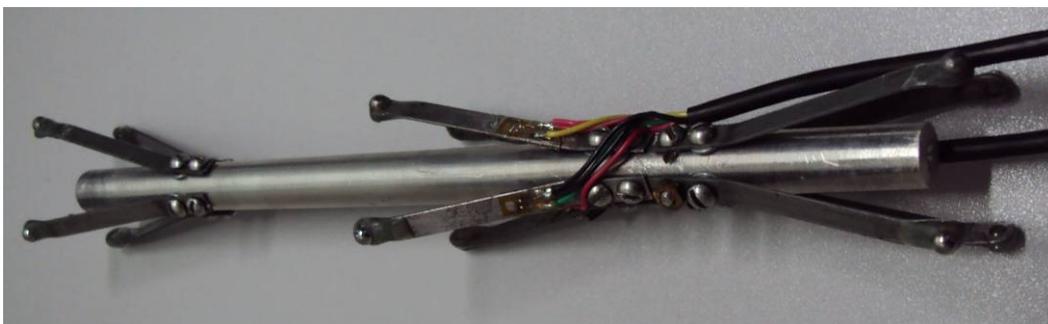


Figura 5.10 – Transdutor de deslocamentos.

Os *strain gages* foram colados sobre lâminas de aço mola que antes foram dobrados em um ângulo de 14° para ter uma abertura suficiente para medir os deslocamentos radiais, sejam positivos ou negativos, dentro do tubo.

Principais componentes do sistema de aquisição de dados:

- Programa LabView
- Cartão NI 9237
- Slots (*Compaq Daq*)
- 2 conectores de 350 ohms

#### 5.4.3.1.

#### Calibração do Transdutor de deslocamentos

A calibração foi feita com uma seqüência de pequenos deslocamentos por médio de um micrômetro adaptado, os quais foram registrados fazendo uso do sistema de aquisição de dados e com programa LabView, com as leituras dos pontos medidos se obteve a seguinte curva, e constante para o *clip-1* e *clip-2*, como mostra a Figura 5.11.(a) e (b), respectivamente.

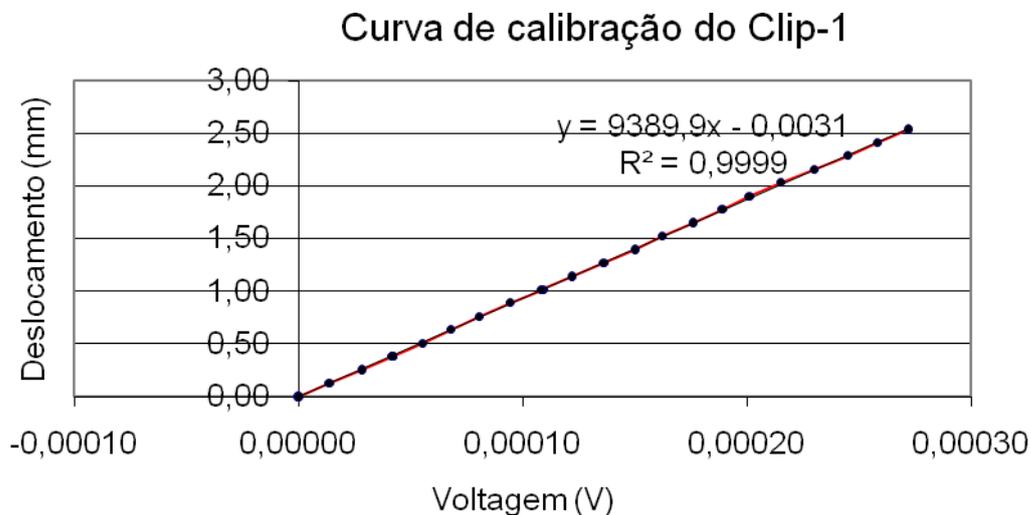


Figura 5.11 (a) – Curva e constante da calibração do *clip gages 1*.

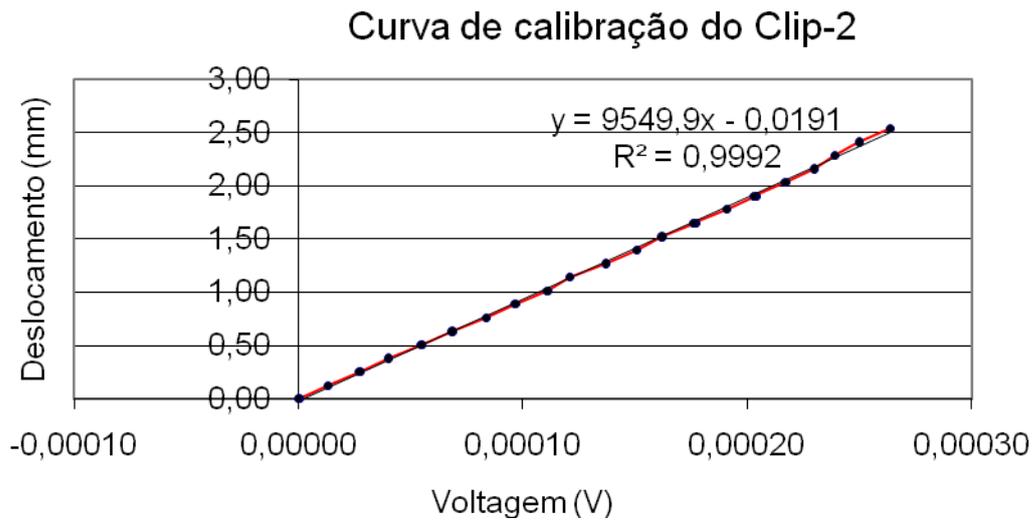


Figura 5.11 (b) – Curva e constante da calibração do *clip-gages 2*.

#### 5.4.4. Câmara Filmadora

Uma câmara filmadora Borescope BR-250 de 9mm de diâmetro, como mostra a Figura 5.12, foi utilizada para filmar o processo de produção de areia do caso *Stand Alone*, a mesma que foi colocada no espaço vazio entre o tubo e a superfície interna do furo.



Figura 5.12 – Câmara filmadora Borescope, transdutor e tubos instrumentados.

## 5.5. Outras especificações

### 5.5.1. Interface atuador-cubo

Para minimizar os efeitos de borda provocados pelo contato entre o atuador e o cubo, e melhor distribuir a tensão aplicada na face, foram utilizadas folhas de papel cartão, como foi usado por Villarroel (2009).

### 5.5.2. Lubrificante

Segundo Villarroel (2009) o lubrificante que apresenta melhores resultados é a mistura de ácido esteárico e vaselina, que foi utilizada para facilitar a aplicação. Para preparar a mistura, colocaram-se em um béquer porções de vaselina e cristais de ácido esteárico na proporção de 1:1 em peso. Estas foram aquecidas em banho termostático ou com estufa até a temperatura de 70°C, ponto de liquefação dos cristais de ácido esteárico, como mostra a Figura 5.13 a temperatura ambiente a mistura tem aspecto uniforme e de coloração branca.



Figura 5.13 – Mistura de ácido esteárico e vaselina em banho termostático.

### 5.5.3. Propriedades do agente de contenção

O *gravel pack* utilizado foi do tamanho malha 16/20 (fig. 5.14), fornecida pela companhia de serviços BJ.

Características do *gravel pack* (Carbolite)

- Densidade 1.57 (Gr/cm<sup>3</sup>) e peso específico aparente 2.71, similar á areia.
- Tamanho de peneira 16/20
- Diâmetro médio da partícula 1001 µm
- Circularidade 0.9
- Esfericidade 0.9

Composição Química: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (51%); SiO<sub>2</sub> (45%); TiO<sub>2</sub> (2%); Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1%);  
Outros 1%.

(Referência: Carbo Ceramics)

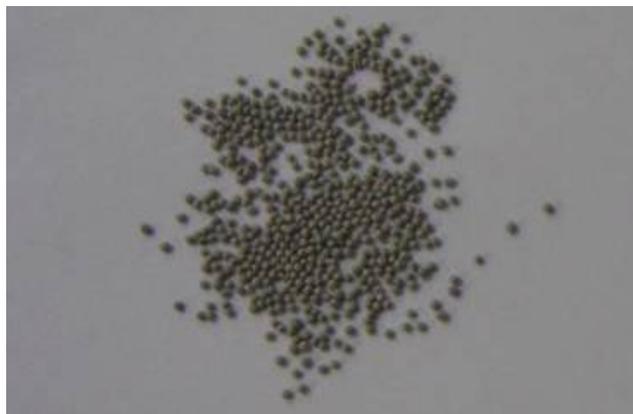


Figura 5.14 – Cerâmica comercial Carbolite, malha 16/20.

### 5.6. Casos Estudados

a) **Caso Breakout com aplicação de carga no eixo “Y” até os 600psi:** A finalidade deste ensaio foi de representar o fenômeno do *Breakout*, o furo foi instrumentado com a câmara filmadora para verificar o início da ruptura e a

produção dos sólidos, em uma formação de baixa resistência sujeita a condições anisotrópicas de tensão. Neste ensaio procurou-se seguir o procedimento feito por Villarroel (2009).

**b) Caso Breakout com aplicação de carga no eixo “Y” até os 1000psi:**

Neste caso foi aplicada uma carga maior no eixo “Y” com a finalidade de observar o início da produção de sólidos e estabelecer o comportamento mecânico a maiores cargas no mesmo tipo de material utilizado no caso anterior.

**c) Caso Tela Centralizada com gravel pack:** A finalidade deste ensaio foi observar as deformações transmitidas à tela e o comportamento do *gravel pack* na mesma formação, sob condições anisotrópicas de tensão. Para medir as deformações em cada ensaio foi colocado o transdutor de deslocamentos dentro do tubo, já para o último ensaio foi instrumentado o tubo com sensores de deformação colados no interior do tubo.

**d) Caso Tela Encostada com gravel pack:** A finalidade foi observar as deformações transmitidas à tela e o comportamento do *gravel pack*, com a tela encostada para estabelecer as possíveis diferenças com o caso de tela centralizada. Para medir as deformações, no interior dos tubos foi colocado o transdutor de deslocamentos, já para o último ensaio foi instrumentado o tubo com sensores de deformação colados no interior do tubo.

**e) Caso Stand Alone:** A finalidade deste ensaio foi observar processo da produção de sólidos no espaço que fica vazio entre a formação e a tela que é encostada na base do poço, para assim avaliar as deformações transmitidas à tela, sob condições anisotrópicas de tensão. Para medir as deformações, no interior dos tubos foi colocado o transdutor de deslocamentos, e também foram instrumentados com sensores de deformação colados no interior de cada tubo.

Cabe indicar que nos casos avaliados os carregamentos foram aplicados fazendo uso unicamente dos pistões da câmara cúbica.

## 5.7. Preparação do Ensaio

Os corpos de prova cúbicos foram preparados com antecedência para realizar os ensaios. Em cada um deles foi untada a mistura de ácido esteárico e vaselina na proporção de 1:1, espalhado de maneira uniforme em todas as faces, e adicionalmente foram utilizados os seguintes materiais:

- Fundo de garrafas plásticas pet para manter o *gravel pack* (Fig. 5.15).
- Silicone adesivo para colar os fundos de garrafa nos extremos dos tubos.
- Papelão para reduzir o atrito entre os atuadores e o bloco.



Figura 5.15 – Retenção do gravel pack nos extremos nos furos do bloco.

O sistema de aquisição de dados se manteve ligado por um tempo mínimo de meia hora, com a finalidade de estabilizar todos os dispositivos em conjunto para em seguida testar os componentes e verificar o correto funcionamento do transdutor de deslocamentos e os strain gage do tubo, as conexões são mostradas na Figura 5.16, uma vez terminado esta fase eram instalados dentro dos CPs, para depois calibrar novamente os strain gage e dar um tempo de estabilização do sistema para logo zerar as leituras e iniciar os ensaios. Neste processo foi determinada a posição do tubo com relação aos strain gage, um no topo e outro na lateral do tubo.



Figura 5.16 – Transdutor de deslocamento no interior do tubo instrumentado.

## 5.8. Execução do Ensaio

### 5.8.1. Breakout com aplicação de carga no eixo “Y” até os 600 psi

No bloco é aplicado carregamento no eixo “Y” e “Z” até os 600 psi, para logo acrescentar carregamento só no eixo “Z”. O atuador do eixo “X” é mantido encostado no bloco sem carregamento ou sem deslocamento algum no transcurso do ensaio.

#### **Bloco-1**

O ensaio foi iniciado com o encostamento dos atuadores nas 6 faces do bloco para logo acrescentar as cargas até os 600 psi no eixo Y e Z, depois foram aplicadas cargas só no eixo Z até se desenvolver a *breakout*. A Figura 5.17 mostra as direções de aplicação de cargas na Câmara Cúbica e na Tabela 5.3 é mostrada a seqüência de carregamentos no bloco.

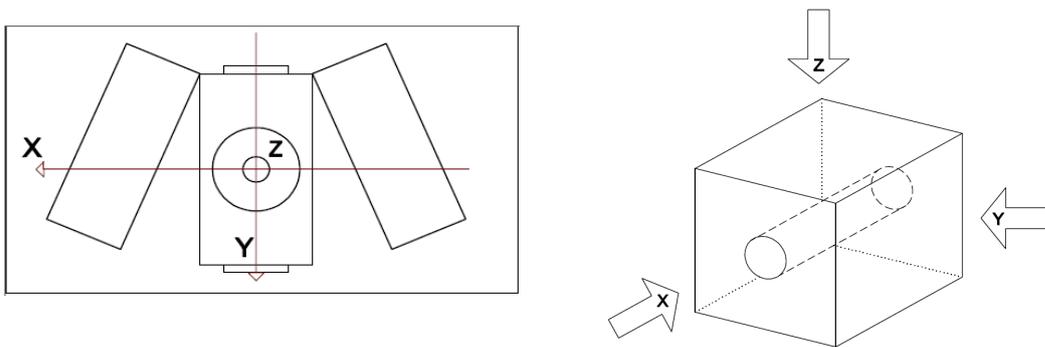


Figura 5.17 - Vista das direções de aplicação de cargas no bloco.

Para os ensaio de *breakout* foi instalada uma câmara filmadora e um led de iluminação, como mostra a figura 5.18, Desta forma se registrou o processo de formação deste fenômeno no interior do furo.



Figura 5.18 – Câmara filmadora e led de iluminação instalada na placa do atuador.

## **Bloco-2**

O procedimento deste bloco é mostrado na tabela 5.3, que foi o mesmo do Bloco 1 e 3.

Tabela 5.3 - Seqüência de carregamentos aplicados no bloco.

<b>Bloco -2</b>	Tempo (min)	Carga (psi)
Fase 1	0	200
Aplicação de carga no eixo "Y" e "Z"	1	Alivio
	2	400
	3	Alivio
	4	600
	5	"Y" restrito
Fase 2	5'30	700
Aplicação de carga no eixo "Z" e deslocamento restrito no eixo "Y"	6'30	800
	7'30	900
	8'30	1000
	9'30	1100
	10'30	1200
<i>Início do breakout</i>	11'30	1300
	12'30	1400
	13'30	1600
	14'30	1800
	15'30	2000
	16'30	2100
	17'30	2200
	18'30	2300
	19'30	2400
	20'30	2500
	21'30	2600
	22'30	2800
Final	23'30	3000

**5.8.2.****Breakout com aplicação de carga no eixo "Y" até os 1000 psi.**

No bloco é aplicado carregamento no eixo Y e Z até os 1000 psi, para logo acrescentar carregamento só no eixo Z. O atuador do eixo X é mantido encostado no bloco sem aplicação de carregamento no transcurso do ensaio.

**Bloco-1**

O bloco-1, no momento de encostar os atuadores nas faces do bloco este ficou fraturado, isto pode ter acontecido por um algum golpe sofrido no processo de desmoldagem ou no transporte do bloco da COPPE para o CENPES. O ensaio não foi executado. A Figura 5.19 mostra o bloco depois do encostamento dos atuadores.



Figura 5.19 - Bloco fraturado depois de encostar os atuadores.

**Bloco-2 (7 dias de cura)**

Os atuadores foram encostados no eixo “X” do bloco, logo é carregado no eixo “Z” e “Y” até uma carga de 1000 psi, a válvula do eixo “Y” é fechada para restringir o deslocamento, esta seqüência é mostrada na Tabela 5.4, o ensaio finalizou com uma carga de 3400 psi.

Tabela 5.4 - Seqüência da aplicação de carregamentos no bloco.

<b>Bloco-2</b>	Tempo (min)	Carga (psi)
Fase 1 Aplicação de cargas no eixo "Y" e "Z"	0	200
	1	Alivio
	2	400
	3	Alivio
	4	600
	5	Alivio
	6	800
	7	Alivio
	8	1000
Fase 2 Aplicação de cargas no eixo "Z" e deslocamento restrito no eixo "Y"	9	1200
	12	1400
	13	1600
	14	1800
	15	2000
	16	2200
	17	2400
	18	2600
	19	2800
20	3000	
21	3200	
Final	22	3400

**Bloco-3** (15 dias de cura)

O ensaio do bloco não chegou a ser completado devido a uma desconexão no sistema de pressões da câmara cúbica, parte do processo do ensaio é mostrado na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Seqüência da aplicação de carregamentos no bloco.

<b>Bloco-3</b>	Tempo (min)	Carga (psi)
Fase 1	0	200
Aplicação de cargas no eixo "Y" e "Z"	1	Alivio
	2	400
	3	Alivio
	4	600
	5	Alivio
	6	800
	7	Alivio
	8	1000
Fase 2	9	1200
Aplicação de cargas no eixo "Z" e deslocamento restrito no eixo "Y"	10	1400
	11	1600
	12	1800
	13	2000
	14	2200
	15	2400
	16	2600
	17	2800
	18	3000
Final	19	3200

Depois de concertada a conexão aos 35 dias, o ensaio foi feito com o mesmo bloco desde o início ,até atingir à carga de 4400 psi no minuto 25.

### 5.8.3. Tela Centralizada com gravel pack

Equipamento e material adicional utilizado:

- 3 tubos de 3.8 cm de diâmetro com 29 cm de comprimento.
- 1 transdutor de deslocamentos
- *Gravel pack* com tamanho de malha 16/20.

Em cada bloco foi instalado o tubo centralizado com o fundo de garrafa *pet* no extremo, em seguida foi preenchido o espaço anular com o *gravel pack* 16/20, como mostra a Figura 5.20, depois se colocou o transdutor de deslocamentos no interior do tubo, alinhando-se com os eixos da câmara cúbica.



Figura 5.20 - Tubo centralizado com o *gravel pack* 16/20.

### **Bloco A-1a** ( 7 dias de cura)

Neste ensaio inicialmente se seguiu a seqüência de Villarroel (2009). O atuador do eixo “X” foi encostado na correspondente face do bloco, para logo aplicar as cargas nos eixos “Y” e “Z” com os respectivos tempos de alivio, até os 600 psi, para depois aplicar carga só no eixo “Z” até os 1200 psi como mostra a tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Seqüência da aplicação de carregamentos no bloco.

<b>Bloco A-1a</b>	Tempo (min)	Carga (psi)
Fase 1	0	200
Aplicação de cargas no eixo "Y" e "Z"	1	Alivio
	2	400
	3	Alivio
	4	600
	5	"Y" restrito
Fase 2 Cargas no eixo "Z" e "Y" restrito	6	700
	7	800
	8	900
	9	1000
	10	1100
Final	11	1200

### Bloco A-1b (17 dias de cura)

Utilizou-se o bloco **A-1a** para testar a nova seqüência de carregamentos, os incrementos eram feitos quando se tinha uma estabilização do carregamento anterior, este procedimento foi controlado pelas leituras e curvas geradas no programa LabView. A tabela 5.7 mostra a nova rotina do ensaio.

Tabela 5.7 – Nova seqüência dos carregamentos aplicados no bloco.

Bloco A-1b	Tempo (min)	Carga (psi)
Fase 1	0	200
Cargas em "Y" e "Z"	2	400
	4	600
Fase 2	10	800
Cargas em "Z" e deslocamento	15	900
	22	1000
restrito em "Y"	29	1100
	34	1200
	41	1300
	51	1400
	75	1500
Final	100	1600

### Bloco A-2 (22 dias de cura)

A Figura 5.21 mostra o selamento no extremo do furo para evitar a saída dos grãos de *gravel pack*.



Figura 5.21 – Tampa utilizada para manter o *gravel pack*.

Os atuadores foram encostados no eixo “X” nas faces do bloco, logo foram aplicadas as cargas, como mostra a Tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Seqüência da aplicação de carregamentos no bloco .

<b>Bloco A-2</b>	Tempo (min)	Carga (psi)
Fase 1	0	200
Carga em "Y" e "Z"	2	400
	5	600
Fase 2	8	700
Cargas em "Z" e deslocamento restrito em "Y"	10	800
	18	900
	26	1000
	35	1100
	50	1200
	59	1300
	70	1400
	84	1500
Final	104	1600

### **Bloco A-3**

Para este ensaio foi utilizado o tubo instrumentado com os dois strain gage colados na superfície interna, com a finalidade de registrar as deformações circunferenciais. A Figura 5.22 mostra a posição deles. Os sensores foram testados fora do bloco para garantir o correto funcionamento, e depois calibrados dentro da câmara cúbica junto com o transdutor de deslocamentos. A seqüência de carregamentos é como mostra a Tabela 5.9.

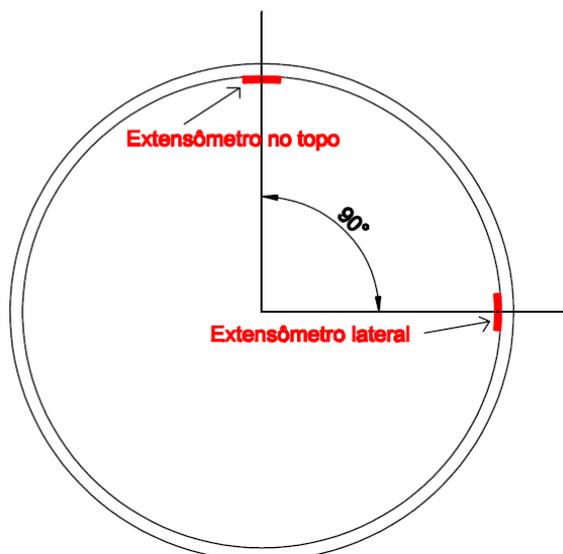


Figura 5.22 - Seção transversal do tubo com o posicionamento dos *strain gage*

Tabela 5.9 - Seqüência da aplicação de carregamentos no bloco.

<b>Bloco A-3</b>	Tempo (min)	Carga (psi)
Fase 1	0	200
Cargas em "Y" e "Z"	2	400
	6	600
Fase 2	10	700
Cargas em "Z" e deslocamento restrito em "Y"	14	800
	25	900
	36	1000
	47	1100
	60	1200
	71	1300
	83	1400
	96	1500
Final	108	1600

#### 5.8.4. Tela Encostada com gravel pack

Para este ensaio foram utilizados os mesmos materiais, equipamentos e procedimento anterior, o tubo foi encostado na parede do furo.

### Bloco B-1

Com o tubo encostado foi preenchido o espaço vazio com o *gravel pack*, a Figura 5.23 mostra a disposição dos elementos.



Figura 5.23 – Tubo encostado com o *gravel pack*.

O primeiro passo do ensaio foi encostar o atuador no eixo “X”, para logo aplicar os carregamentos nos eixos “Y” e “Z” para logo aplicar cargas unicamente no eixo “Z”, como mostra a tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Seqüência dos carregamentos aplicados no bloco.

Bloco B-1	Tempo (min)	Carga (psi)
Fase 1	0	200
Cargas em "Y" e "Z"	2	400
	4	600
Fase 2	7	700
Cargas em "Z" e deslocamento restrito em "Y"	9	800
	12	900
	17	1000
	22	1100
	40	1200
	56	1300
	75	1400
	87	1500
Final	100	1600

### Bloco B-2

O procedimento foi o mesmo do bloco B-1. A tabela 5.12 mostra a seqüência do ensaio.

Tabela 5.11 - Seqüência dos carregamentos aplicados no bloco.

Bloco B-2	Tempo (min)	Carga (psi)
Fase 1	0	200
Cargas em "Y" e "Z"	2	400
	4	600
Fase 2	6	700
Cargas em "Z" e deslocamento restrito em "Y"	9	800
	14	900
	19	1000
	24	1100
	36	1200
	44	1300
	55	1400
	62	1500
Final	69	1600

### Bloco B-3

Foi utilizado um tubo instrumentado com os *strain gages* posicionados nos correspondentes eixos "Y" e "Z" do bloco, com o transdutor de deslocamentos alinhado nessas direções, como mostra a figura 5.24 (a) e (b).



(a) – Instalação do tubo instrumentado e o tradutor de deslocamento.



Figura 5.24 (b) – Preenchimento com o *gravel pack*.

O procedimento é o mesmo que no caso precedente. A Tabela 5.13 mostra a seqüência do ensaio.

Tabela 5.12 - Seqüência dos carregamentos aplicados no topo.

<b>Bloco B-3</b>	Tempo (min)	Carga (psi)
Fase 1	0	200
Cargas em "Y" e "Z"	2	400
	4	600
Fase 2	10	800
Cargas em "Z" e deslocamento restrito em "Y"	20	900
	30	1000
	44	1100
	55	1200
	66	1300
	79	1400
	90	1500
Final	100	1600

### 5.8.5. Stand Alone

Equipamento adicional utilizado:

- Câmara Filmadora “Vídeo Borescope 685-BR250” de 9 mm.
- Tubo instrumentado com dois strain gage, no topo e na lateral no interior da seção circular, com angulo aproximado de 90 graus.

Dentro do furo horizontal do bloco foi instalado o tubo instrumentado e o transdutor de deslocamento, como mostra a Figura 5.25, que foi alinhado com os eixos “Y” e “Z”, lembrando que no caso do *Stand Alone* só é utilizado a tela como agente de retenção de sólidos.

### **Bloco C-1**

Neste bloco foram aplicados carregamentos seguindo a mesma seqüência dos casos anteriores, a carga nos eixos foi até os 600 psi nos eixos “Y” e “Z”, para depois acrescentar só no eixo “Z”, chegando aos 1800 psi, o bloco não gerou os detritos esperados.



Figura 5.25 – Bloco com o sistema de contenção instrumentado.

### **Bloco C-2**

Neste ensaio foi aplicada a carga nos eixos “Y” e “Z” até os 1000 psi, com o objetivo de aumentar a resistência do bloco, para produzir os sólidos necessários para o caso *Stand Alone*, a Tabela 5.14 mostra a seqüência do ensaio. Cada carga no eixo “Z” foi aplicada até ter uma estabilização do bloco para logo acrescentar mais carga.

Tabela 5.13 - Sequência dos carregamentos aplicados no bloco

<b>Bloco C-2</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Carga (psi)</b>
Fase 1	0	200
Cargas em "Y" e "Z"	1	400
	2	600
	3	800
	4	1000
	6	1200
Fase 2 Cargas em "Z" e deslocamento restrito em "Y"	7	1400
	10	1600
	12	1800
	14	2000
	16	2200
	18	2400
	20	2600
	22	2800
	24	3000
	26	3200
	28	3400
	30	3600
	32	3800
	34	4000
	36	4200
	38	4400
	40	4600
42	4800	
Final	44	5000

### Bloco C-3

O processo de produção de detritos foi filmado com uma câmara instalada dentro do bloco, como mostra figura 5.26 (a) e (b).



(a) – Passagem de câmara filmadora através de um conduto de 13 mm de diâmetro



Figura 5.26 (b) – Instalação da câmara filmadora dentro do bloco.

Neste último ensaio não foi utilizado os transdutor de deslocamento devido ao mesmo ficar danificado no ensaio precedente. A seqüência do ensaio é mostrada na Tabela 5.14.

Tabela 5.14 - Seqüência dos carregamentos aplicados no bloco.

<b>Bloco C-3</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Carga (psi)</b>
Fase 1	0	200
Cargas em "Y" e "Z"	1	400
	2	600
	3	800
	4	1000
	7	1200
Fase 2 Cargas em "Z" e deslocamento restrito em "Y"	10	1400
	12	1600
	14	1800
	16	2000
	18	2200
	20	2400
	22	2600
	24	2800
	26	3000
	28	3200
	30	3400
	32	3600
	34	3800
	36	4000
	38	4200
	40	4400
	42	4600
	44	4800
	46	5000
	48	5200
50	5400	
52	5600	
54	5800	
56	6000	
58	6200	
60	6400	
62	6600	
64	6800	
Final	66	7000