

# 1 INTRODUÇÃO

Estamos vivendo a era do petróleo. Na sociedade moderna, dificilmente encontramos um ambiente, um produto ou um bem que não contenha compostos derivados do petróleo ou que não seja produzido direta ou indiretamente a partir do petróleo.



Figura 1.1: Imagens de campo - perfuração de um poço de petróleo (site [geocities.yahoo.com.br](http://geocities.yahoo.com.br)).

De origem natural, não renovável e de ocorrência limitada, o petróleo movimenta bilhões de dólares diariamente em uma atividade industrial gigantesca, empregando milhares de trabalhadores, técnicos e cientistas. Recursos consideráveis são alocados para o seu desenvolvimento e pesquisa, fazendo surgir, a cada dia, tecnologias e equipamentos mais sofisticados para a descoberta de novas jazidas, extração, transporte e refino do petróleo.

## 1.1 Perfuração de poços de petróleo

A perfuração de um poço de petróleo [25] é realizada através de uma sonda, conforme ilustrado na figura (1.2).

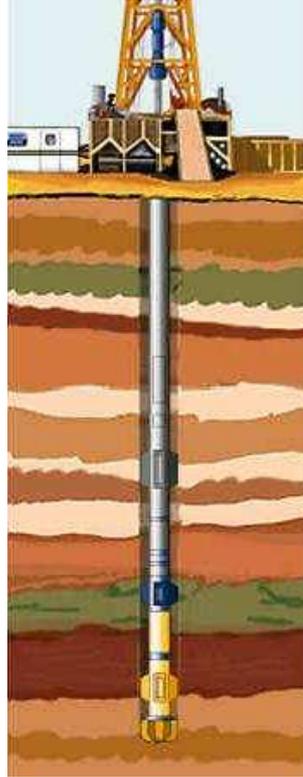


Figura 1.2: Perfuração de um poço de petróleo  
(site [www.howstuffworks.com](http://www.howstuffworks.com)).

Na perfuração rotativa, as rochas são perfuradas pela ação da rotação e peso aplicados a uma broca existente na extremidade de uma coluna de perfuração, a qual consiste basicamente de comandos (tubos de paredes espessas) e tubos de perfuração (tubos de paredes finas). Os fragmentos da rocha são removidos continuamente através de um fluido de perfuração ou lama. Ao atingir determinada profundidade, a coluna de perfuração é retirada do poço e uma coluna de revestimento de aço, de diâmetro inferior ao da broca, é descida no poço. O anular entre os tubos do revestimento e as paredes do poço é cimentado com a finalidade de isolar as rochas atravessadas, permitindo então o avanço da perfuração com segurança. Após a operação de cimentação, a coluna de perfuração é novamente descida no poço, tendo, na sua extremidade, uma nova broca de diâmetro menor do que a do revestimento, para prosseguir a perfuração. Do exposto, percebe-se

que um poço é perfurado em diversas fases, caracterizadas pelos diferentes diâmetros das brocas.

## 1.2

### Equipamentos da sonda de perfuração

Todos os equipamentos de uma sonda rotativa responsáveis por determinada função na perfuração de um poço são agrupados nos chamados “sistemas” de uma sonda. Os principais sistemas são: de sustentação de cargas, de geração e transmissão de energia, de movimentação de carga, de rotação, de circulação, de segurança do poço, de monitoração e o sistema de subsuperfície (coluna de perfuração). Um desenho esquemático, indicando todos os sistemas utilizados na plataforma de perfuração, é mostrado na figura (1.3).

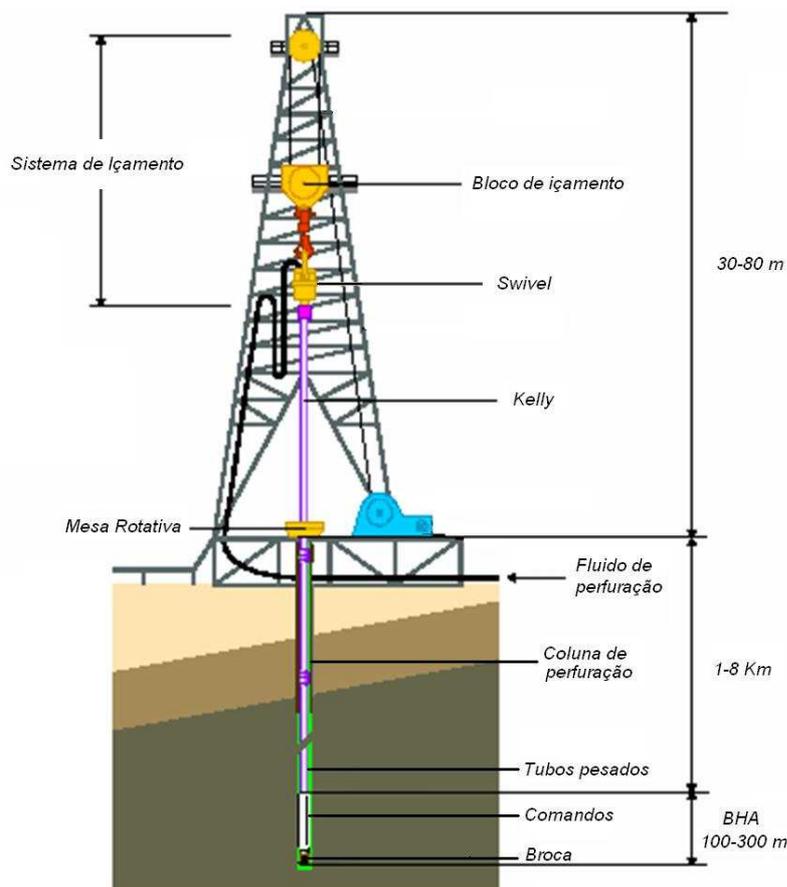


Figura 1.3: Desenho esquemático de uma plataforma de perfuração (site [www.howstuffworks.com](http://www.howstuffworks.com)).

### 1.2.1

#### **Sistema de sustentação de cargas**

O sistema de sustentação de cargas é constituído do mastro ou torre, da subestrutura e da base ou fundação. A carga corresponde ao peso da coluna de perfuração ou revestimento que está no poço é transferida para o mastro ou torre, que, por sua vez, a descarrega para a subestrutura e esta para a fundação ou base. Em perfurações marítimas pode não existir fundações.

#### **Torre ou mastro**

Uma vez desgastada, a broca é retirada até a superfície e substituída por outra nova, numa operação chamada de manobra. Por economia, a manobra é feita, retirando-se seções de dois ou três tubos (cada tubo mede cerca de 9 metros), exigindo, para tanto, uma torre ou mastro com mais de 45 metros de altura.

A torre é uma estrutura de aço especial, de forma piramidal, de modo a prover um espaçamento vertical livre, acima da plataforma de trabalho, para permitir a execução das manobras.

#### **Subestruturas**

A subestrutura é constituída de vigas de aço especial, montadas sobre a fundação ou base da sonda, de modo a criar um espaço de trabalho sob a plataforma, onde são instalados os equipamentos de segurança do poço.

#### **Estaleiros**

O estaleiro é uma estrutura metálica constituída de diversas vigas apoiadas por pilaretes. O estaleiro fica posicionado na frente da sonda e permite manter todas as tubulações dispostas paralelamente a uma passarela para facilitar o seu manuseio e transporte.

### 1.2.2

#### **Sistema de geração e transmissão de energia**

A energia necessária para o acionamento dos equipamentos de uma sonda de perfuração é, normalmente, fornecida por motores diesel.

Nas sondas marítimas em que exista produção de gás, é comum e econômica a utilização de turbinas a gás para geração da energia para toda a plataforma.

Quando disponível, a utilização da energia elétrica de redes públicas pode ser vantajosa, principalmente, quando o tempo de permanência da sonda, em cada locação, for elevado.

### 1.2.3

#### **Sistema de movimentação de carga**

O sistema de movimentação de carga permite deslocar as colunas de perfuração, de revestimento e outros equipamentos.

Os principais componentes do sistema são: guincho, bloco de coroamento e catarina.

#### **Guincho**

O guincho recebe a energia mecânica necessária para a movimentação de cargas através da transmissão principal, no caso de sondas diesel, ou diretamente de um motor elétrico acoplado a ele, nas sondas elétricas.

#### **Bloco de coroamento**

É um conjunto estacionário de 4 a 7 polias, montadas em linha num eixo suportado por mancais de deslizamento, localizado na parte superior do mastro. O bloco suporta todas as cargas que lhe são transmitidas pelo cabo de perfuração.

#### **Catarina**

A catarina é um conjunto de 3 a 6 polias móveis montadas em um eixo que se apóia nas paredes externas da própria estrutura da catarina. A catarina fica suspensa pelo cabo de perfuração que passa, alternadamente, pelas polias do bloco de coroamento e polias da catarina, formando um

sistema com 8 a 12 linhas passadas. Na parte inferior da catarina encontra-se uma alça pela qual é preso o gancho.

#### 1.2.4

#### Sistema de rotação

Nas sondas convencionais, a coluna de perfuração é acionada pela mesa rotativa, localizada na plataforma da sonda. A rotação é transmitida a um tubo de parede externa poligonal, o *kelly*, que fica enroscado no topo da coluna de perfuração.

Nas sondas equipadas com *top drive*, a rotação é transmitida diretamente ao topo da coluna de perfuração por um motor acoplado à catarina. O conjunto desliza em trilhos fixados à torre, onde o torque, devido à rotação, da coluna é absorvido.

Existe ainda a possibilidade de se perfurar com um motor de fundo colocado logo acima da broca. O torque necessário é gerado pela passagem do fluido de perfuração.

O sistema de rotação convencional é constituído de equipamentos que promovem a livre rotação da coluna de perfuração. São eles: mesa rotativa, o *kelly* e o *swivel*.

#### Mesa rotativa

A mesa rotativa é o equipamento que transmite rotação à coluna de perfuração e permite o livre deslizamento do *kelly* no seu interior. Em certas operações, a mesa deve suportar o peso da coluna de perfuração.

#### Kelly

O *kelly* é o elemento que transmite a rotação proveniente da mesa rotativa à coluna de perfuração.

O *kelly* pode ter dois tipos de seção reta. Em sondas de terra, a mais comum é a quadrada e, em sondas marítimas, a seção hexagonal, pela sua maior resistência à tração, torção e flexão.

#### Swivel

*Swivel* é o equipamento que separa os elementos rotativos daqueles estacionários na sonda de perfuração.

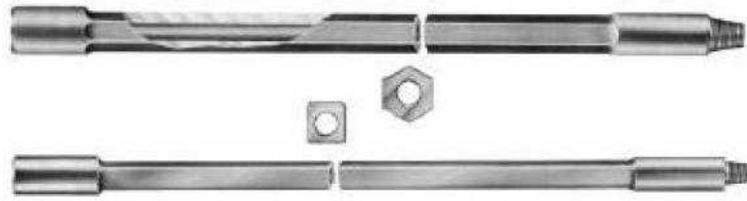


Figura 1.4: Kelly de seção reta hexagonal e quadrada [25].

### 1.2.5

#### Sistema de circulação

Sistema de circulação são os equipamentos que permitem a circulação e o tratamento do fluido de perfuração.

Numa circulação normal, o fluido de perfuração é bombeado para baixo, por dentro da coluna e retorna pelo espaço anular entre a coluna e a parede do poço. Esta lama é constituída de uma solução à base de água com aditivos ou à base de óleo com aditivos.

Na superfície, o fluido permanece dentro de tanques, após receber o tratamento adequado, através de um sistema de remoção de partículas sólidas, composto basicamente de peneiras vibratórias e centrífugas.

Normalmente, os fluidos utilizados possuem características reológicas particulares, sendo classificados como fluidos não-newtonianos. O objetivo do fluido de perfuração é ajudar no processo de corte, resfriando e lubrificando a broca, transportar o cascalho de corte para a superfície, monitorar o processo de corte da rocha a partir do material removido, manter a integridade do poço e reduzir o atrito entre a coluna e a parede do poço.

### 1.2.6

#### Sistema de monitoração

Sistema de monitoração são os equipamentos necessários ao controle da perfuração: manômetros, indicador de peso sobre a broca, indicador de torque, tacômetro etc.

Com o progresso da perfuração, observou-se que um máximo de eficiência e economia seria atingido, quando houvesse uma perfeita combinação entre os vários parâmetros da perfuração. Eles podem ser classificados em indicadores, que apenas fornecem uma leitura direta do

parâmetro em consideração, e os registradores, que traçam curvas dos valores medidos.

Os principais indicadores são: a medição do peso no gancho e sobre a broca (também denominado WOB - *weight on bit*), o manômetro que indica a pressão de bombeio, o torquímetro para o torque na coluna de perfuração, o torquímetro instalado nas chaves flutuantes com a função de medir o torque aplicado nas conexões da coluna de perfuração ou de revestimento e os tacômetros para medir a velocidade da mesa rotativa e da bomba de lama.

O registrador mais importante é o que mostra a taxa de penetração da broca, que é uma informação importante para se avaliar as mudanças das formações perfuradas, o desgaste da broca e a adequação dos parâmetros de perfuração.

### 1.3

#### Colunas de perfuração

Durante a perfuração é necessária a concentração de grande quantidade de energia na broca para cortar as diversas formações rochosas. Esta energia, em forma de rotação e peso aplicados sobre a broca, é transferida às rochas para promover sua ruptura e desagregação em forma de pequenas lascas, ou cascalhos, que são removidos do fundo do poço e carregados até a superfície pelo fluxo do fluido de perfuração.

A coluna de perfuração é a responsável direta por todo este processo e consta dos seguintes componentes: comandos, tubos pesados e tubos de perfuração.

#### 1.3.1

##### Comandos

A parte inferior das colunas de perfuração é chamada de BHA (*bottom hole assembly*). Como esta parte da coluna é carregada em compressão, ela é constituída de tubos mais espessos, chamados de comandos. Os comandos (também denominados *Drill Collars* ou DC) são elementos tubulares fabricados em aço forjado, usinados e que possuem alto peso linear devido à grande espessura de parede.



Figura 1.5: Comando (*Drill Collar*) [25].

Suas principais funções são fornecer peso sobre a broca (*weight on bit* - WOB) e prover rigidez à coluna, permitindo melhor controle da trajetória do poço. A conexão destes elementos é feita por uniões roscadas usinadas diretamente no corpo do tubo. Externamente, os comandos podem ser lisos ou espiralados. São normalizados pelo API e sua especificação deve levar em conta as seguintes características: diâmetro externo, diâmetro interno, tipo da união e acabamento externo.

### 1.3.2

#### Tubos pesados

Os tubos pesados (*Heavy-Weight Drill Pipes* - HWDP) são elementos tubulares de aço forjado e usinados que têm como função principal promover uma transição de rigidez suave entre os comandos e os tubos de perfuração, diminuindo a possibilidade de falha por fadiga. As características principais são: maior espessura das paredes, uniões mais resistentes e revestidas de metal duro (*Hard-Facing*) e reforço central no corpo do tubo revestido de metal duro.

### 1.3.3

#### Tubos de perfuração

Os tubos de perfuração (*Drill Pipes* - DP) são tubos de aço sem costura, tratados internamente com aplicação de resinas para diminuição do desgaste interno e corrosão, possuindo nas suas extremidades as conexões cônicas conhecidas como *tool joints*, que são soldadas no seu corpo. Na sua especificação são consideradas as seguintes características: diâmetro nominal (diâmetro externo que varia de 2 3/8" a 6 5/8"), peso nominal, tipo de reforço para soldagem das uniões, tipo ou grau do aço, comprimento nominal (*range*) e tipos de rosca.



Figura 1.6: Tubo de perfuração (*Drill Pipe*) [25].

O peso por unidade de comprimento do tubo é um valor de referência que permite determinar o diâmetro interno, a espessura da parede e o *drift* (máximo diâmetro de passagem) do tubo.

O comprimento nominal pode variar de 5,49m (18 pés) até 16,50m (45 pés).

#### **1.3.4**

#### **Acessórios da coluna de perfuração**

##### **Estabilizadores**

São ferramentas que dão maior rigidez à coluna e, por terem diâmetro igual ao da broca, auxiliam a manter o diâmetro (calibre) do poço. Nos poços direcionais, têm como função o deslocamento dos pontos de apoio da composição de fundo (BHA) nas paredes do poço, de modo a permitir maior controle da trajetória do poço.

##### **Escareadores**

São ferramentas com as mesmas funções dos estabilizadores, mais utilizados em rochas duras e abrasivas, por isso utilizam roletes nas lâminas.

##### **Alargadores**

Os alargadores permitem aumentar o diâmetro de um trecho de poço já perfurado, desde a superfície ou a partir de uma certa profundidade de subsuperfície.

##### **Amortecedores de vibração**

São ferramentas que absorvem as vibrações axiais da coluna de perfuração induzidas pela broca, principalmente, quando perfurando rochas duras.

## 1.4 Brocas

As brocas são equipamentos que têm a função de promover a ruptura e desagregação das rochas ou formações rochosas. O estudo das brocas, considerando o seu desempenho e economicidade, é um dos fatores importantes na perfuração de poços de petróleo.

As brocas podem ser classificadas de duas maneiras: brocas sem partes móveis e brocas com partes móveis.

### 1.4.1 Brocas sem partes móveis

Os principais tipos são: integral de lâminas de aço, diamantes naturais e diamantes artificiais (PDC).

As brocas de lâminas de aço, conhecidas como *FishTail*, foram as primeiras brocas a serem usadas. Sua característica é de perfurar por cisalhamento. O maior problema deste tipo de broca é que a vida útil de sua estrutura cortante é muito curta, mesmo aplicando materiais mais duros nas lâminas. Este tipo de broca praticamente desapareceu da perfuração de poços de petróleo com o aparecimento das brocas de cones.

As brocas de diamantes naturais perfuram pelo efeito de esmerilhamento. Estas brocas possuem uma estrutura cortante de diamantes naturais fixados numa matriz metálica. Ao final da década de 1970, foram lançadas novas brocas, utilizando diamantes sintéticos. São as chamadas brocas PDC (Polycrystalline Diamond Compact), cuja estrutura de corte é formada por pastilhas ou compactos, montados sobre bases instaladas no corpo da broca. O seu mecanismo de perfuração é pelo cisalhamento, por promover um efeito de cunha.

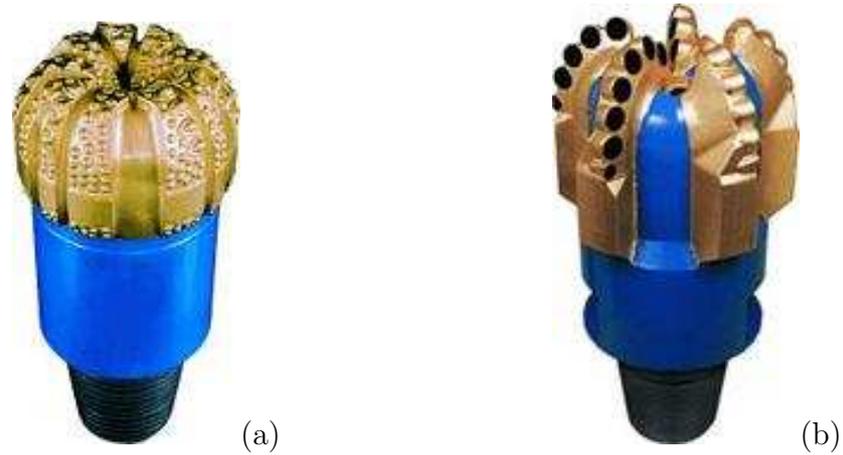


Figura 1.7: a) Broca de diamante natural; b) broca tipo PDC (site [www.seed.slb.com](http://www.seed.slb.com)).

#### 1.4.2 Brocas com partes móveis

As brocas com partes móveis podem ter de um a quatro cones, sendo as brocas tricônicas, pela sua eficiência e menor custo inicial, as mais utilizadas. Elas possuem dois elementos principais: estrutura cortante e rolamentos.

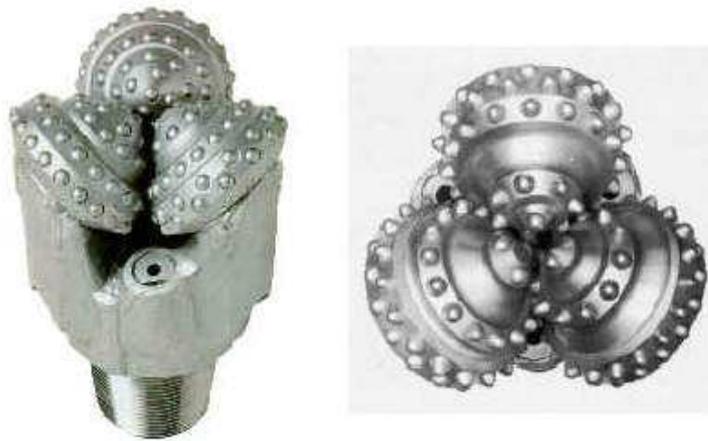


Figura 1.8: Broca tricônica com insertos(site [geocities.yahoo.com.br](http://geocities.yahoo.com.br)).

A ação da estrutura cortante das brocas tricônicas envolve a combinação de ações de raspagem, lascamento, esmagamento e erosão por impacto dos jatos de lama. As brocas tricônicas podem ser equipadas com um dos três tipos básicos de rolamentos: com roletes e esferas não-selados, com roletes e esferas selados e com mancais de fricção tipo *journal*.

## 1.5 Vibrações em colunas de perfuração

É de conhecimento comum que a dinâmica da coluna de perfuração exerce um importante papel durante a perfuração de um poço. Um comportamento dinâmico indesejado da coluna de perfuração pode levar a diversos problemas, tais como dificultar o processo de perfuração ou causar falha à broca ou ao BHA [5]. Além disso, a vibração da coluna afeta diretamente a taxa de penetração (ROP), a confiabilidade do sistema de medição e o controle direcional do furo.

As vibrações na coluna de perfuração resultam da combinação de três formas distintas: axial (ou longitudinal), torcional e lateral, conforme é mostrada na figura (1.9). Na maioria dos casos, estas três formas de vibração encontram-se acopladas devido às expressivas deflexões da coluna e da interação da broca com a rocha. Entretanto, quando lidamos somente com as vibrações lineares, os efeitos de acoplamento podem ser negligenciados. Portanto, cada uma das formas de vibração da coluna, isto é, axial, torcional e lateral, podem ser estudadas separadamente [5].

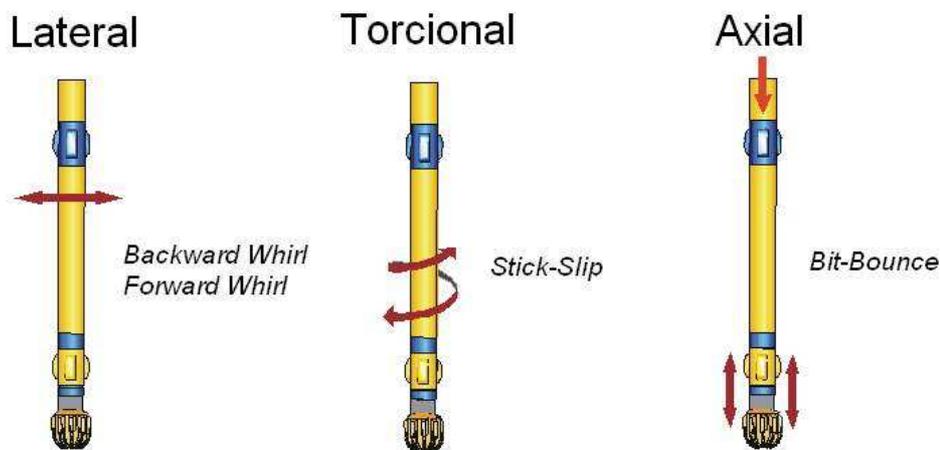


Figura 1.9: Tipos de vibração em uma coluna de perfuração [13].

Quando as vibrações se tornam severas (ressonância), surgem disfunções que podem conduzir rapidamente à falha prematura do equipamento [12].

Conforme será melhor detalhado posteriormente, esta dissertação estará concentrada na modelagem da vibração axial da coluna, não importando para este estudo as demais formas de vibrar da coluna de perfuração.

As vibrações axiais podem dificultar a perfuração, causar dano à broca e ao BHA e diminuir a taxa de penetração (ROP). A grande responsável pela vibração axial é a força gerada na interação broca/rocha [13]. Contudo, esta excitação depende do tipo de broca e do tipo de formação que se quer perfurar. As brocas tricônicas, por exemplo, produzem excitações axiais mais severas em comparação com as brocas sem partes móveis (PDC, diamante natural) [5]. A vibração gerada pelo processo de corte, durante a perfuração com broca tricônica, resulta em um movimento suave da coluna de perfuração com uma frequência dominante de 3 vezes a frequência de rotação da coluna. Quando esta frequência de excitação corresponder a uma frequência axial natural da coluna de perfuração e o amortecimento for baixo, o sistema entra em ressonância e a broca pode perder contato com o fundo do poço.

Vibrações axiais excessivas e não controladas causam o fenômeno de “quicar da broca” (*bit bounce*), causando a destruição da broca, falha dos componentes mecânicos do BHA e a diminuição da taxa de penetração.

## 1.6

### ROP em rochas duras e inovações no processo de perfuração

A perfuração de rochas duras ainda é um grande desafio para as empresas de perfuração e exploração de petróleo. Com taxas de penetração (ROP) inferiores a 1 m/h, os custos operacionais são elevados, até mesmo em operações *onshore* [13].

Durante a perfuração de um poço, além da carga estática pré-estabelecida pelo peso sobre a broca (WOB), uma carga dinâmica axial, gerada principalmente pelo processo de corte, pode amplificar ou reduzir a força efetiva ou força de contato entre a broca e a formação rochosa. A utilização desta força dinâmica para ampliar a força de contato é capaz de aumentar a ROP e, conseqüentemente, a eficiência da sonda de perfuração. O estudo deste novo paradigma está no contexto de vibrações mecânicas, mais precisamente, na vibração axial da coluna e pode ser entendido como uma nova técnica de perfuração [13], sendo chamado de *perfuração na ressonância*.

Neste contexto, uma forma de conseguir maior eficiência da coluna de perfuração é combinando a perfuração rotativa convencional com um dispositivo de vibroimpacto. Esta nova metodologia não é recente e os primeiros dispositivos chamados de *perfuração rotativa-percussiva* são datados de 1955.

O aumento da ROP em rochas duras tem sido uma área de grande interesse para a PETROBRAS. Desta forma, a PETROBRAS participa de um projeto multi-cliente desenvolvido pelo grupo HDRG (*Hard-To-Drill-Rock Group*), inserido na CSIRO Petroleum. Este projeto possui a colaboração de três Universidades: PUC-Rio (Brasil), no tocante à perfuração na Ressonância; Universidade de Minnesota (EUA), no estudo de vibrações auto-excitadas de brocas PDC; e a Universidade de Liège (Bélgica), que concentra a modelagem numérica de vibrações auto-excitadas em sistemas de perfuração.

Uma das linhas de pesquisa atuais consiste em utilizar a própria vibração axial da coluna de perfuração (perfuração na ressonância) para auto-induzir um sistema que gere forças impulsivas (perfuração rotativa-percussiva). Esta nova técnica vem sendo chamada de **perfuração percussiva-rotativa auto-excitada**.

O aumento na ROP a partir desta técnica de perfuração vem sendo uma das linhas de pesquisa do Laboratório de Vibrações da PUC-Rio. Esta técnica utiliza a vibração axial do BHA, induzida pela interação broca/rocha (para o caso de brocas tricônicas), no intuito de aumentar a amplitude da componente dinâmica do peso sobre a broca (WOB).

A inclusão de um *shaker* acima da broca possui a capacidade de aumentar, significativamente, a ROP na técnica de perfuração na ressonância, cujo aumento é de 10% na ROP. De forma simplificada, este *shaker* consiste, basicamente, num sistema massa-mola com baixo amortecimento, que impacta numa superfície cuja folga é variável. O *shaker* torna-se um colaborador da taxa de penetração, não somente por gerar maiores forças dinâmicas, mas também por fornecer um controle adicional sobre a parcela dinâmica do WOB, além da rotação da coluna. Conforme já comentado, a concepção deste tipo de perfuração data da década de 1950. Entretanto, somente nos últimos anos, uma investigação teórica e experimental foi realizada de forma a projetar este *shaker* especificamente para a perfuração rotativa com brocas tricônicas [13].

Recentemente, um novo dispositivo vem sendo desenvolvido pela *Andergauge Drilling Systems*, dispositivo este chamado de *AnderHammer* [3]. Uma característica importante desta nova ferramenta é sua capacidade de operar adequadamente com qualquer fluido de perfuração. Inclusive pode ser usado com as brocas de perfuração tricônicas convencionais. Segundo o fabricante, em testes realizados com um protótipo, a perfuração com o *AnderHammer* proporciona ganhos de mais de 50% na taxa de penetração. O aumento da ROP se dá pela ação do movimento percussivo da broca,

induzindo o trincamento da formação rochosa, facilitando a penetração rotativa.

Neste novo dispositivo, o mecanismo de acionamento do martelo hidráulico é baseado no mesmo conceito que a *Andergauge* utilizou no equipamento AG-iterator. Consiste no emprego de válvulas rotativas que, em ciclos periódicos, proporcionam o alinhamento de orifícios, permitindo a passagem do fluido de perfuração. No caso do martelo hidráulico, o fluido de perfuração aciona uma massa de aço que impacta a broca. O AG-iterator, por sua vez, já é um produto regular da *Andergauge* e consiste em gerar oscilações axiais no peso sobre a broca, reduzindo a fricção com a parede do poço, aumentando a ROP [3].

## 1.7

### Objetivos do trabalho

Esta tese se propõe a desenvolver um primeiro protótipo de um dispositivo que irá operar em ressonância e será capaz de gerar forças dinâmicas expressivas. De forma resumida, este dispositivo será chamado de “RIMD” (Resonant IMPact Device).

Na análise feita por Luiz Fernando Penna Franca em sua tese de doutorado, foi mostrado que um aumento da ROP no processo de perfuração, utilizando vibrações já existentes na coluna de perfuração, é possível, fazendo um sistema incorporado à coluna, operar em ressonância e gerar cargas dinâmicas, aumentando o WOB [13].

Após os estudos analítico e numérico apresentados na tese, ainda existem alguns pontos a serem investigados, no que diz respeito ao projeto e construção de tal dispositivo. Uma primeira idéia é construir um dispositivo em forma de uma “caixa preta”, a qual será montada na estrutura que vibra; tendo esta caixa dois ajustes: um calibra a frequência de ressonância do RIMD e outro agindo sobre os impactos (folga). É conhecido, de trabalhos anteriores, que o tamanho da folga também possui influência sobre a frequência natural do sistema. Desta forma, existe uma interdependência entre ambos os ajustes.

Um dos primeiros passos do projeto e desenvolvimento do protótipo é a escolha da ordem de grandeza das dimensões do mesmo, de forma que o protótipo seja pequeno o suficiente para facilitar sua construção e instrumentação no laboratório de vibrações da PUC-Rio, e representativo do sistema em tamanho real (a ser implantado na coluna de perfuração).

Alguns componentes do RIMD são: o sistema massa-mola com baixo amortecimento, um dispositivo de impacto e outro de variação da folga.

Após a concepção e construção do protótipo, o passo seguinte do estudo será a obtenção das características do RIMD, como, por exemplo, a faixa de frequências a qual atua e a medição das forças impulsivas geradas. Por último, o protótipo também servirá para validar um modelo analítico que permitirá investigações posteriores neste tema, podendo gerar outras possibilidades de construção do RIMD.

## 1.8

### Organização do trabalho

Esta dissertação é composta de 6 capítulos, sendo o primeiro deles dedicado à apresentação dos objetivos e à introdução do assunto.

No Capítulo 2, será apresentado um modelo simplificado da coluna de perfuração, estudando mais especificamente a vibração axial da coluna, de forma a obter os parâmetros desejados para o estudo do RIMD (frequências naturais, modos de vibração, amortecimento, etc.)

No Capítulo 3, será descrita a modelagem do RIMD, apresentando, em seguida, o modelo que descreve a sua dinâmica e um estudo numérico do modelo.

No Capítulo 4, será apresentado o conteúdo experimental da dissertação, incluindo a descrição da bancada experimental, da instrumentação utilizada e os resultados experimentais.

No Capítulo 5, serão comparados os resultados obtidos, experimentalmente, com a simulação numérica.

No Capítulo 6, serão descritas as recomendações e conclusões gerais do trabalho.