

3

Modelo de Torque e Arraste

Os modelos de torque e arraste são utilizados para dar suporte ao planejamento de poços e ajudar na previsão e prevenção de problemas operacionais durante a perfuração. Estes modelos são geralmente utilizados durante a etapa de planejamento do poço a fim de garantir que o seu projeto proposto seja viável e a trajetória proposta possa ser perfurada sem problemas com os equipamentos disponíveis na sonda. Os equipamentos que apresentam certas limitações de torque são: mesa rotativa, *top drive*, tubos de perfuração, revestimentos e telas de completção.

Para o planejamento da perfuração de poços verticais a análise de torque e arraste é menos significativa, uma vez que a coluna geralmente está centralizada no poço sem ter contato com a parede do mesmo e, desta forma, nenhuma força adicional de contato é gerada o que torna os valores de torque e arraste praticamente nulos. Vale ressaltar que o modelo utilizado não prevê a análise de torque e arraste em trechos verticais.

Em contrapartida, a perfuração de poços direcionais requer maiores cuidados, pois conforme a inclinação dos mesmos aumenta, forças adicionais são observadas devido a um maior contato da coluna de perfuração com a parede do poço. Sendo estas cumulativas, quanto maior a profundidade do poço, maiores serão as forças de contato e maiores serão os valores de torque e arraste que podem variar significativamente dependendo da trajetória do poço e da composição da coluna de perfuração.

O principal fator que influencia os valores de torque e arraste é a fricção gerada no poço. No entanto, outros fatores relacionados aos problemas operacionais como prisão da coluna de perfuração por diferencial de pressão, limpeza deficiente do poço, chavetas (*key seats*), entre outros, também podem gerar altos valores de torque e arraste.

Existem dois modelos de torque e arraste que são utilizados na indústria do petróleo: *soft-string* e *stiff-string*. O primeiro não considera a rigidez na flexão da coluna de perfuração assumindo que a mesma se deforma e adota a forma do poço

ao longo da trajetória e, desta maneira, permanece em constante contato com o mesmo. Já o segundo, considera a rigidez dos componentes da coluna de perfuração e a existência de menos pontos de contato da mesma com a parede do poço, o que resulta em uma análise mais realista das tensões e dos carregamentos que nela atuam.

Logo, como a trajetória (curvatura) e a tortuosidade do poço têm grande influência na distribuição das forças de contato ao longo de suas paredes e ambos os modelos têm considerações distintas a este respeito, os mesmos apresentarão resultados diferentes.

A figura 6 mostra os esforços atuantes na coluna de perfuração para diferentes trechos ao longo da trajetória.

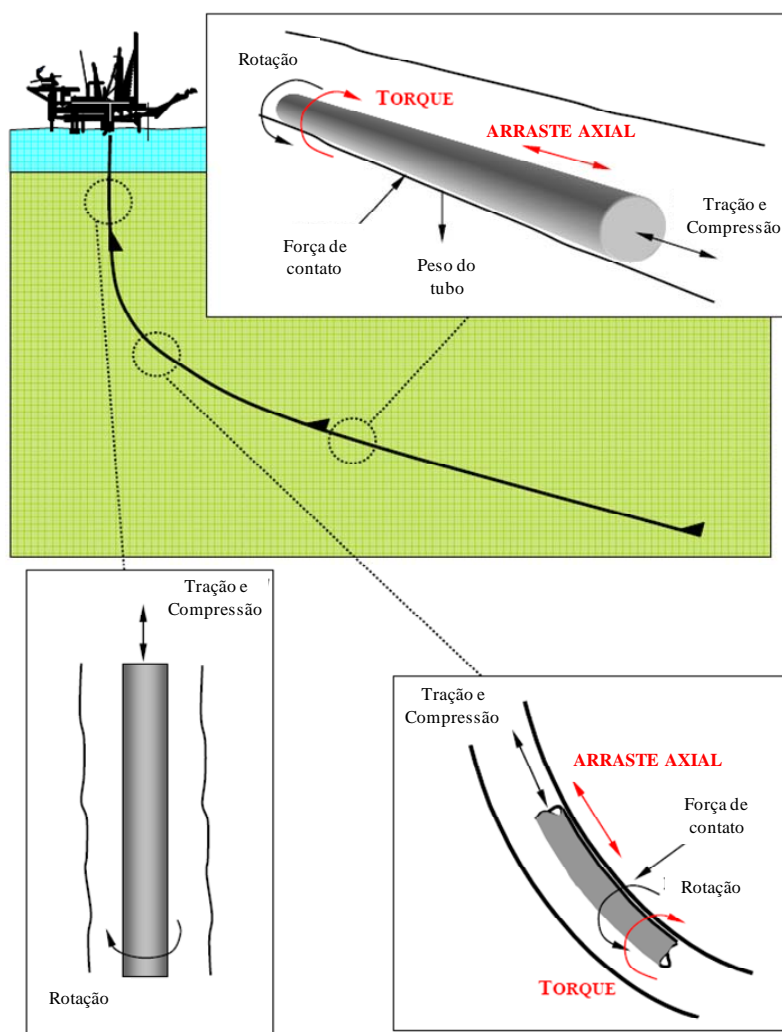


Figura 6: Esforços atuantes na coluna ao longo da trajetória

Fonte: K&M Technology Group (2003)

Abaixo seguem detalhados os conceitos básicos relacionados à análise de torque e arraste numa coluna de perfuração. O modelo que foi o utilizado no presente trabalho é o proveniente do aplicativo *Wellplan*, da empresa Landmark e suas considerações estão detalhadas no apêndice A.

3.1

Conceitos Básicos de Torque e Arraste

3.1.1

Torque

Torque é uma força rotacional (notada somente enquanto a coluna está em rotação) gerada a partir dos seguintes fatores:

- Torque friccional

É a força friccional gerada pelas forças de contato entre a coluna de perfuração e o revestimento ou o poço aberto. Este seria o único tipo de torque gerado num poço perfeitamente limpo quando rotacionando a coluna fora do fundo (*rotating off bottom*). Sua magnitude é determinada pelos seguintes fatores (K&M TECHNOLOGY GROUP, 2003):

- Tração ou compressão na coluna: quanto maior a tração, maior a força de contato. Conforme mostrado na figura 6, acima, numa seção de ganho de ângulo a tração pode ser grande suficiente para superar a força da gravidade e a força de contato pode ocorrer no lado alto do poço;

- *Dogleg severity*: altos valores de *dogleg* irão aumentar as forças de contato, sendo particularmente um ponto de preocupação em trechos rasos do poço em que a tração na coluna é também alta. Já para os trechos mais profundos do poço o efeito de elevados *doglegs* não é tão crítico, pois as trações são muito menores;

- Diâmetro da coluna de perfuração e do poço: a folga entre a coluna de perfuração e o diâmetro do poço (*clearance*) afeta as forças de contato, ou seja, uma pequena distância entre o tubo de perfuração

e o diâmetro do poço aumenta a efetiva rigidez do mesmo e, conseqüentemente, aumenta as forças de contato;

- Peso da coluna de perfuração: um alto peso da coluna irá resultar numa maior força de contato (maior o peso sobre as paredes do poço);

- Inclinação: a inclinação do poço afeta as forças de contato onde, em trechos de alta inclinação um maior componente do peso da coluna, agindo perpendicularmente ao poço, será gerado. Logo, em inclinações muito altas, conforme mais peso é apoiado sobre as paredes do poço, o torque pode na verdade reduzir e, com isso, a tração na coluna de perfuração e as forças de contatos associadas também irão diminuir;

- Lubricidade ou fator de fricção: a lubricidade é controlada pelo fluido de perfuração e o tipo de formação.

- Torque mecânico

É gerado pela interação da coluna de perfuração e do BHA com o leito de cascalho, pelas formações instáveis (por exemplo, argilas) ou por prisão por diferencial de pressão. É também notado em componentes do BHA que possuem excessiva interação com a formação como, por exemplo, os estabilizadores.

- Torque na broca

É o resultado direto da interação da broca com as formações que estão sendo perfuradas. O torque resultante irá depender fortemente do tipo de broca utilizada (geralmente broca PDC gera mais torque do que a tricônica). A melhor maneira de se determinar o torque na broca é através de sensores de fundo, como por exemplo, os *downhole torque subs* (pequenos componentes de uma coluna de perfuração utilizados para medir o torque na broca).

O torque resultante na broca é gerado em função do peso sobre a broca, da rotação aplicada na coluna de perfuração, das características das formações, do formato e do desgaste da broca e da hidráulica.

Por fim, a magnitude do torque é obtida através da multiplicação do fator de atrito pelo raio da coluna e pela força normal que a coluna exerce nas paredes do poço.

3.1.2

Arraste

O arraste é uma força axial gerada de maneira similar ao torque (quanto maior a força de contato, maior o arraste) e basicamente toma o lugar do torque quando a coluna para de rotacionar e o tubo se move somente numa direção axial. A força de arraste estará sempre agindo na direção oposta ao movimento da coluna de perfuração.

Logo, a magnitude da força de arraste é obtida através da multiplicação do fator de atrito com a força normal.

3.1.3

Força Normal ou Força Lateral

A força normal é a força exercida pelo poço sobre a coluna de perfuração. A figura 7, abaixo, mostra as forças agindo em um pequeno segmento da coluna de perfuração apoiada sobre a parede do poço inclinado.

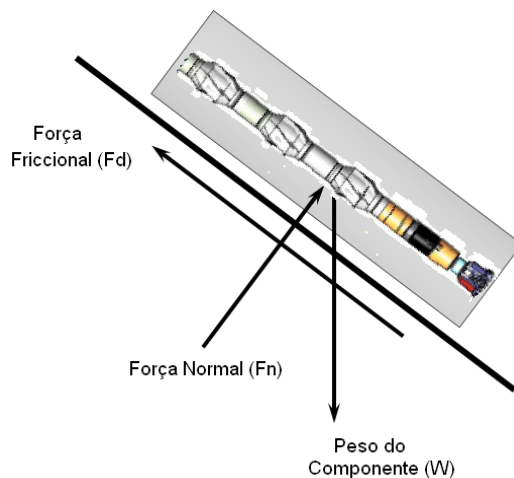


Figura 7: Forças agindo em um pequeno segmento da coluna de perfuração

Fonte: Landmark (2003)

A partir deste diagrama de forças pode-se observar que a força normal atua na direção perpendicular à superfície de contato, o peso do segmento da coluna atua para baixo, na direção da gravidade e a força friccional (arraste) atua na direção oposta ao movimento.

3.1.4

Fator de Fricção ou Atrito

A fricção é um fator muito importante na operação de perfuração. Conforme a coluna de perfuração desce, sobe e rotaciona (no fundo e fora do fundo) forças friccionais devem ser consideradas e acabam tendo grande influência nos cálculos de torque & arraste, hidráulica, *surge & swab* e na estimativa de peso no gancho durante a cimentação (Samuel, 2010).

A fricção entre a parede do poço e a coluna de perfuração é definida pelo fator de fricção (μ), o qual pode ser medido no campo ou em laboratório para obter uma comparação dos valores obtidos com o uso de diferentes fluidos ou lubrificantes, sob condições controladas.

No entanto, seu valor medido no laboratório quase nunca será o mesmo que o medido no campo, pois este último leva em consideração muitos outros fatores que são imensuráveis com a tecnologia atual. São eles:

- Geometria do poço (espiralamento, diâmetro, reboco, *dogleg*, chavetas, curvatura);
- Rigidez da coluna de perfuração (superfície da conexão, centralizadores, desgaste do tubo);
- Leito de cascalhos (espessura, rugosidade);
- Efeitos viscosos;
- Tipo de fluido de perfuração e lubricidade;
- Erros associados ao peso.

Uma maneira prática de se estimar o fator de atrito real, em condições de campo, consiste em medir o peso da coluna de perfuração na descida (*slack-off weight*), na subida (*pick-up weight*) e rotacionando fora do fundo (*rotating off bottom*). O fator de atrito real na subida e na descida é obtido pela subtração das respectivas medidas de peso da coluna pelo peso da mesma rotacionando fora do fundo.

3.1.5

Flambagem

É uma deformação na forma da coluna de perfuração devido às forças axiais compressivas terem atingido a força crítica de flambagem.

Existem dois tipos de flambagem:

- Senoidal:
 - Referida como flambagem lateral;
 - Geralmente é a primeira forma de flambagem que ocorre.

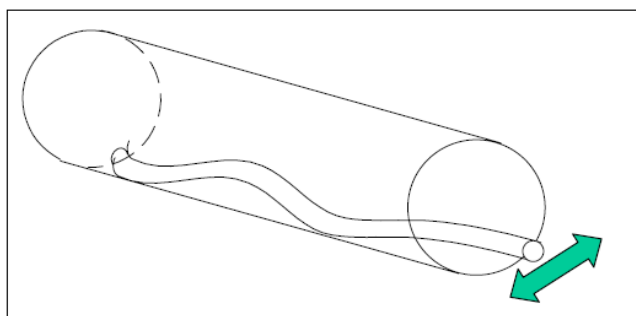


Figura 8: Flambagem senoidal

Fonte: K&M Technology Group (2003)

- Helicoidal
 - Ocorre normalmente na vertical ou em trechos quase verticais, logo após o KOP ou após a ocorrência da flambagem senoidal quando severa compressão é aplicada.
 - Pode rapidamente resultar num rompimento da coluna

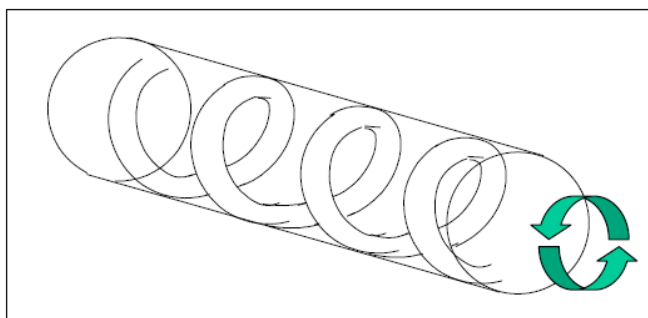


Figura 9: Flambagem helicoidal

Fonte: K&M Technology Group (2003)