

Utilização de Coulis (Permagel+cimento+Areia+Água) em obras de contenção de fluxos de líquidos

O termo “*coulis*” vem do francês, e significa na sua forma popular “calda granular”, mas no meio da Engenharia Civil pode ser traduzido como “argamassa”.

Mas foram nas obras em que se utilizavam uma argamassa com adição de bentonita que este termo se consolidou. A história por trás da utilização de uma argamassa com utilização de adição de bentonita se mostrou necessário nas obras que necessitavam uma argamassa com alguma resistência à compressão, um alto módulo de elasticidade e fosse friável, com alto poder de impermeabilização e fosse de fácil aplicação (fluidez). Em meados dos anos 70, engenheiros franceses estavam fazendo pesquisas de materiais/misturas que atendessem esses requisitos e chegaram a essa mistura: bentonita+cimento+areia+água, é denominada tal mistura “*coulis*”, o termo passou a ser utilizado como expressão *franca e universal na Engenharia* e o “*coulis*” empregado em diversas obras ao redor do mundo onde se buscam as características já elencadas.

O “*coulis*” foi inicialmente utilizado em obras de reparos de redes subterrâneas, como por exemplo redes de água e esgoto, mas seu uso se mostrou muito mais versátil e começou a ser utilizado como método de impermeabilização em solos e logo foi empregado como solução de impermeabilização de cut-offs de barragens de terra com a utilização das chamadas PAREDES DIAFRAGMAS PLÁSTICAS, método que executa paredes subterrâneas de grande profundidade e ao longo de um trecho pré-determinado (sequencial) e preenchidas pelo “*coulis*” através de tubos tremonhas que lançam de baixo para cima por gravidade o “*coulis*” nas lamelas sequencias da escavação da PAREDE DIAFRAGMA PLÁSTICA . Ao final da execução temos uma cortina sequencial monolítica que garante a impermeabilização, estanqueidade da barreira e suporta as acomodações do solo sem apresentar fissuras.

A utilização do “*coulis*” é muito difundida hoje em dia em obras ao redor do mundo como material versátil, de fácil aplicação, fácil mistura e qualidades técnicas bastante eficazes. Sua característica de ter um coeficiente de permeabilidade baixíssimo (da ordem de $K=1 \times 10^{-9}$ m/s ou até mais baixos dependendo da dosagem no traço) garante que os fluxos indesejados, sejam eles água ou algum contaminante, fiquem sempre a montante da barreira. Somado a essa qualidade de impermeabilização tem-se um elevado módulo de elasticidade (relativo à natureza do material), que garante ($E= 0,8$ GPa a $E= 1,6$ GPa) que não ocorram fissuras na barreira com as acomodações naturais do solo.

Outra importante característica é ser uma mistura, apesar da alta resistência à compressão também relativa à natureza do material, o “coulis” é friável. Essa característica é importante no método executivo das PAREDES DIAFRAGMAS PLÁSTICAS. Durante o processo de execução das paredes, a escavação é modulada por lamelas, geralmente de $L=3,20$ m, e a sequência executiva obedece ao fator de tempo de cura do “coulis”, desta forma as lamelas são escavadas alternadamente: por exemplo executa-se a lamela 1 e depois no dia seguinte executa-se a lamela 5, depois executa-se a lamela 6 e só depois é que se volta e executa-se a lamela 2. A razão disso é o tempo para se obter a cura (parcial) necessária para não colapsar o material, “coulis”, da lamela executada previamente. Quando executamos as lamelas iniciais, as chamamos de primárias e as subsequentes, ao lado de já executada de secundárias. Para garantir a monoliticidade da parede, quando escavamos a lamela secundária fazemos uma operação de “arranhar” a junta dessa lamela, graças aos dentes acoplados na ferramenta que executa a escavação, chamada de CLAM –SHELL, a fim de que no lançamento do “coulis” dessa lamela ele tenha a capacidade de penetrar no “coulis” já curado (parcialmente) e garantir que a parede seja monolítica, garantindo assim a sua estanqueidade. Isso só é possível graças a característica friável do “coulis” enquanto o material encontra-se em uma cura parcial.

Por último, mas não menos importante, é a característica da resistência à compressão, que na sua essência é garantida pela adição do cimento à mistura. Assim como o módulo de elasticidade, a resistência à compressão, é relativamente alta, em relação a natureza da mistura ($f_{ck}= 8,00$ Mpa a $f_{ck}=11$ Mpa). Esses valores estão intimamente ligados às quantidades de cimento e bentonita adicionados ao “coulis”. Quanto maior é a quantidade de cimento, maior será a resistência à compressão e se fixarmos essa quantidade de cimento no traço e elevarmos a quantidade de bentonita a resistência à compressão irá decair, portanto deve-se procurar uma harmonização das quantidades ideais em função da necessidade da obra.

Tem-se como base o consumo de $150,00$ kg/m³ a 350 kg/m³ de cimento e um consumo que varia de 50 kg/m³ a 100 kg/m³ de bentonita.

Importante lembrar das interações entre o cimento e a bentonita. As bentonitas são argilos-minerais oriundas de derramamentos vulcânicos e tem em suas estruturas cátions livres que podem ser CÁLCIO ou SÓDIO (Ca^{++} ou Na^{++}) porém somente as bentonitas sódicas, as que possuem o cátion SÓDIO tem as características necessárias para promover o inchamento (capacidade relativa à impermeabilidade, elasticidade) do “coulis”. As bentonitas cálcicas, cátion cálcio, não possuem as propriedades desejadas para o “coulis”. Em 2004 em função das obras da linha 4 do METRÔ de SP, houve a necessidade de desenvolvimento de uma bentonita especial. Essa bentonita deveria ter as mesmas propriedades de sempre, mas, importante, que ela não reagisse de forma negativa com o cimento. Verificou-se em diversos testes, tanto no laboratório da

QUALIDADE DA OBRA DO METRÔ LINHA 4 e em laboratórios independentes, tais como: Falcão Bauer, EPT e CONCREMAT que as bentonitas interagiam negativamente com o cimento, por conta disso iniciaram-se desenvolvimentos da BENTONIT UNIÃO com um programa de pesquisas na Escola Politécnica da USP para identificar e solucionar tal problema. O problema foi identificado como sendo a reação do cálcio livre do cimento (clinker pozolânico) com o cátion livre Sódio da bentonita. Essa reação, não desejada, incorria em vários malefícios para ambos os componentes da mistura: o cimento, tinha um grande decréscimo na resistência à compressão, o tempo de cura aumentava em torno de 10 h e perdia muita água, necessária para a cura para a bentonita, pois a bentonita consumia a água pois é um material muito hidróscópico. No lado da bentonita foi registrado um decréscimo na capacidade de inchamento, provocando assim um aumento no coeficiente de permeabilidade “k”, da ordem de 100 vezes ($k=1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ ao invés do esperado e desejado $k=1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$) e por último perdia o a característica de tixotropia, característica que é desejada pois é onde o material final tem um módulo de elasticidade alto, compatível com as necessidades das obras.

Foi a partir desse fato que se chegou ao PERMAGEL, uma bentonita especialmente desenvolvida para misturas com cimento, sejam “coulis” ou grout-bicomponentes utilizados nas obras de perfuração com TBM (Tatuzão) para assentamentos das aduelas (segmentos de anéis de concreto empregados como revestimentos dos túneis perfurados pelo TBM). E mais importante, o que auxiliou muito logisticamente as obras foi a não necessidade de pré-hidratação do PERMAGEL, eliminando-se assim a necessidade de tanques e reservatórios específicos para esse serviço.

Desta forma, ampliou-se a utilização dos “coulis” como solução de barreiras contrafluxos de líquidos em solos. Como exemplos de obras, podemos destacar: o VSE da Estação Paulista do METRÔ LINHA 4, foi empregado o “coulis” com PERMAGEL para impedir que os contaminantes do solo não atingissem a estação finalizada, impossibilitando assim o uso pelos passageiros.

Outras obras que em que foi utilizado o “coulis” com PERMAGEL:

- Diversas estações e poços de acesso nas obras do METRÔ de SP LINHA 4;
- Diversas estações e poços de acesso nas obras do METRÔ de SP LINHA 5;
- UHE PEIXE ANGICAL (impermeabilização do cut-off da barragem de terra da usina, essa foi a maior obra até hoje em volume de “coulis” com um total de 18.000 m² de PAREDE DIAFRAGMA PLASTICA executada, com um volume de aproximadamente 10.000 ton de PERMAGEL)
- Grout-bicomponente da Perfuração do METRÔ de SP LINHAS 4 e 5 e LINHA 4 do RJ

- Diversas obras ambientais, como barreira impermeável para conter as plumas de contaminantes do solo.
- Diversas PCHs, como impermeabilização do cut-off da barragem de terra, tais como: Sapezal, Jurena, Campo Novo do Parecis, Cocal, Guariba e mais recentemente Foz do Cedro.

Vale ressaltar que em todas as obras realizadas com o PERMAGEL a BENTONIT UNIÃO não foi simples fornecedora de material, mas através de engenheiros especializados forneceu know-how e participou ativamente do desenvolvimento dos traços dos “coulis”, a fim de garantir o melhor desempenho técnico e o menor custo para as obras. A BENTONIT UNIÃO conta com um moderno e ágil laboratório/centro de pesquisas com todos os equipamentos necessários para o desenvolvimento do melhor traço de “coulis” para cada obra em específico. O centro de pesquisas fica em Indaiatuba.

Para finalizar, sempre importante destacar a necessidade de uma boa investigação geotécnica no local da obra, com sondagens SPT abrangentes e demais ensaios quando necessários e solicitados pelo consultor geotécnico.

Eng. Pedro Paulo Furtado Gouveia Filho

Depto. Técnico BENTONIT UNIÃO

Email: pgouveia@bentonit.com.br

Tel.: +55.11.21126600

Cel.; +55.11.982230919