

**ESTATÍSTICA-PROBABILIDADES (E.P.) BÁSICAS PARA A  
INDISPENSÁVEL RACIONALIZAÇÃO DO CAOS DAS MÚLTIPLAS  
"ESCOLAS DE SOLUÇÕES" NA GEOTECNIA.**

***BASIC STATISTICS-PROBABILITIES (S.P.) FOR INDISPENSABLE  
RATIONALIZATION OF THE CHAOS OF MULTIPLE "SCHOOLS OF  
SOLUTIONS" IN GEOTECHNIQUE.***

SASAKI, ÉRIKA KITANO<sup>(\*)</sup>  
QUINTANILHA, RAQUEL<sup>(\*)</sup>  
SAKAMOTO, LUCIANA<sup>(\*)</sup>  
DE MELLO, VICTOR F.B.<sup>(\*\*)</sup>

**RESUMO**

Aumentaram progressivamente na última trintena de anos os casos, já muitos, de PREVISÕES contra COMPORTAMENTO EFETIVO em problemas diversos da engenharia geotécnica, quase sempre com resultados espantosamente frustrantes, não obstante serem relativos a casos unitários correntes necessários na prática profissional. Demasiadas "teorias-receitas" em uso por diferentes "escolas" e uma freqüência de distribuição de soluções com mui poucos resultados próximos ao real, grande porcentagem pessimista a muito pessimista (indicativo de encarecimento das obras) e uns poucos exageradamente otimistas a ponto de insinuarem ruptura, por absorverem todo o Fator de Segurança FS global convencional. Predominam extremos, "ruptura", quer recôndita econômica, quer exposta física.

Sob a égide da flagrantemente vitoriosa intuição de Terzaghi quanto às pressões efetivas, proliferaram os proféticos sucessos determinísticos iniciais, de primeira grandeza, favorecidos pela "mecânica" e "estruturas", prevalecendo sobre o (também primordialmente enfatizado) respeito à geologia, porém obviada para as idealizações indispensáveis. Sob convite de Terzaghi seguiu-se incontável produção de "relatos de casos (complexos)" e de divulgações teórico-práticas individuais de "eureka", "eu fiz", "aconteceu (quando ruptura)". Fatores natos da geotecnia, atrelada a sociologia e legislação exigindo SEGURANÇA ABSOLUTA, postergaram aplicação de recursos estatístico-probabilísticos, já correntes em profissões colaterais, para fixação de margens de segurança mais realísticas, via maximização de causas e minimizações de resistências, e graus de confiança probabilísticos parciais a compor para o global. Colegas brilhantes aprofundaram e expandiram seus domínios da E.P., oferecendo muita base erudita: minimizaram porém possibilidades de domínio do geotécnico profissional já

---

<sup>(\*)</sup> *Victor F.B. de Mello & Associados, São Paulo - Brasil, [mellogeo@terra.com.br](mailto:mellogeo@terra.com.br)*

<sup>(\*\*)</sup> *Victor F.B. de Mello & Associados, São Paulo - Brasil, [mellogeo@terra.com.br](mailto:mellogeo@terra.com.br)  
[vfbmello@terra.com.br](mailto:vfbmello@terra.com.br)*

assoberbado por complexidades inúmeras e problemas de dados muito poucos incrementados progressivamente e com alterações determinísticas, e amostras insignificantes de universos que presumidamente pretenderiam levar a probabilidades de  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ , etc., nos protótipos, sempre singulares. Tais extrapolações são pura ilusão, irracional, reconhecendo a interveniência dominante das alterações determinísticas, e do dominante determinismo tanto dos modelos teóricos como do erro humano.

Apresentam-se recomendações mínimas para aplicação sistemática, apoiadas em raciocínios exemplificados, conclamando à correção progressiva ulterior no uso amplo simplificado inicial como mera receita convidativa..

## **ABSTRACT**

During the past 30 years or so there has been a progressive increase of the number (by now great) of challenges of PREDICTION vs. PERFORMANCE in different problems of geotechnical engineering, almost always resulting in shockingly frustrating results, despite referring to basic issues indispensable to everyday professional practice. Too many "theories/prescriptions" abound nurtured by different "schools", leading to a Frequency Distribution F.D. of responses scarce around the real performance, with high percentage of rather-to- highly pessimistic (indicative of overcosting works), and a few exaggeratedly optimistic to the point of foreboding failure, absorbing all of the conventional global Factor of Safety F.S. .Extremes predominate representing "failure", either physical, exposed, or economic, chronic and concealed.

Under the aegis of Terzaghi's flagrantly victorious intuition regarding effective stresses, proliferated the early prophetic deterministic first-order successes, favored by "mechanics" and "structures", that prevailed over the respect to geology, also emphasized by Terzaghi, but set aside for the indispensable idealizations. Thereupon, under Terzaghi's exhortation (implemented under some distortion and limitations) there followed the countless publications of "special case histories" and individual theoretical-practical prescriptions categorized as "eureka", "I did so", and "it happened (when involving physical failure)". Factors innate in Geotechnique (saddled with, sociologically and legally required ABSOLUTE SAFETY) postponed the application of statistical-probabilistic resources already current in collateral professional branches, directed toward establishing more realistic safety margins, via maximizing causative factors and minimizing resisting factors, and via partial probabilistic Confidence Intervals (C.I.) for integration into the global F.S. . Brilliant colleagues extended and deepened their mastery of S.P., offering every possible specialized support. One can observe, however, that there have been almost no practical applications adopted, which might be attributed to many causes, among which : (1) the difficulty for geotechnicians, already overloaded with their multiple complexities, to embrace another conceptually complex field; (2) the insignificant to very limited SAMPLE of data on any statistical universe, and the very slow increase thereof, much conditioned by deterministic alterations; (3) the realization of the illusion of attempting discussing hazards of  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ , etc., for prototypes ever singular, under such unabashed limitations. In short such extrapolations seem to be pure illusions, and irrational, upon recognition of the dominant intervention of the deterministic alterations of theoretical models and actions, and human error.

Hereupon it is submitted that the optimized trade-off is for maximally drawing on past data, under adoption of simple inviting recipes for comparisons under Probabilistic Hazards. Minimum recommendations and caveats are offered, supported on simple reasonings, for uses in systematic sequence aimed at soliciting progressive corrections and special adjustments, within a vastly amplified store of the suppressed or scattered first-order data.

## 1. INTRODUÇÃO.

Reporto-me liminarmente a mais um caso de DESAFIO de PREVISÕES vs. COMPORTAMENTO [1] sobre o qual consegui documentação detalhada, anonimizada, que me foi amavelmente oferecida pelos patrocinadores IMPCOL-CIRIA, quando lá estive durante a Rankine Lecture (Março 2001). Desta vez constituiu a palhinha a quebrar o dorso do camelo, para com reflexões que há tempos se impunham em meus anseios de quebrar círculos viciosos da Geotecnia convencional.

Repetiram, agora para caso específico especial e exageradamente documentado por ensaios, as conclusões extraídas por Briaud e Tucker [2] Figs. 1A e 1B, relativas a 13 métodos populares em uso para capacidade de carga de estacas, indicando a grande preponderância de pessimismos (encarecedores) e de dispersões com forte viés. Desta vez foram 16 competidores, empregaram 14 teorias/métodos de cálculo, apenas 1 acertou dentro de  $\pm 20\%$  do real : previsões chegaram ao mínimo de 29% e máximo de 194%; 70% das previsões foram demasiado pessimistas, 25% roubam muito do presumido/especificado F.S.

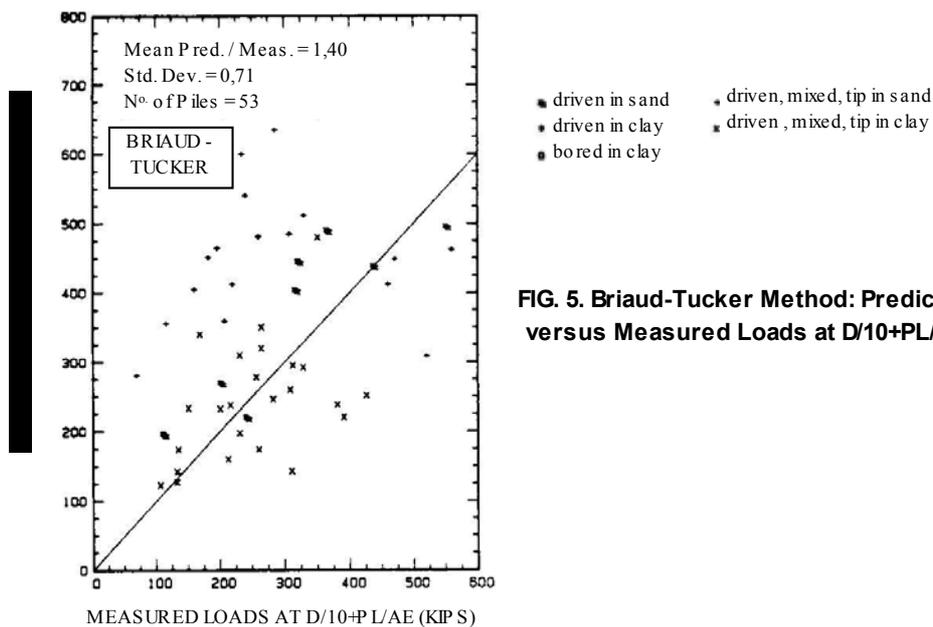


FIG. 5. Briaud-Tucker Method: Predicted versus Measured Loads at D/10+PL/AE

Figura 1A

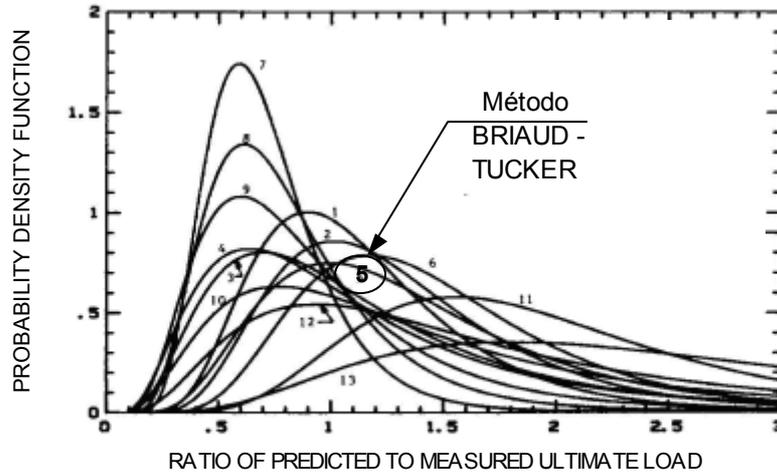


FIG. 14. Log Normal Distribution for Ultimate Load Prediction

Figura 1B

Com todo o respeito e gratidão para com os nobres colegas apresento apenas também a Fig. 1C [1], para configurar a realidade de como se encontram os esforços da E.P. perante práticas profissionais avançadas, muito mais documentadas do que nos casos correntes.

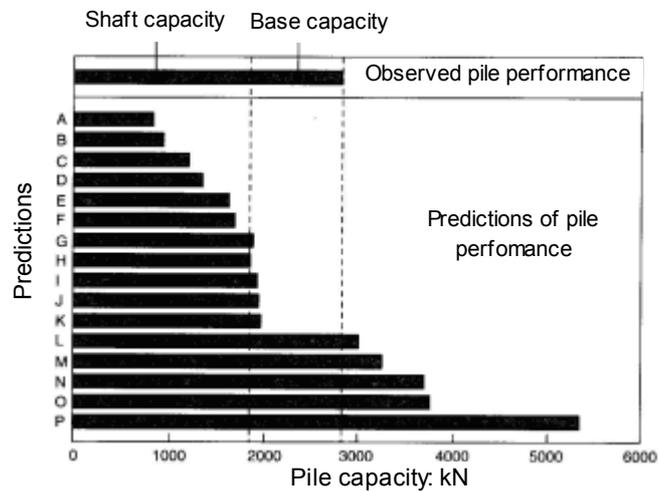


Fig. 3 - Comparison of predicted and observed pile capacities.

Figura 1C

IMPCOL-CIRIA  
[1]

Admito termos sido, o Prof. T. W. Lambe e eu (1967) quem promoveram os primeiros de tais desafios, referentes a Aterros sobre Argilas Moles. De meu anteprojeto de subida da barragem de Alibey (Turquia, 1967) em 3 etapas de cerca de 14m (para atender à inadiável demanda de água potável para Istanbul), Lambe [3] aproveitou para um aterro experimental e suas proposições de Previsões dos tipos A,B,C, etc... na Rankine Lecture. Referente ao aterro da autoestrada I - 95 (MASS.) empregado para Previsões tipo A já comentei [4] quanto a: (1) as principais questões terem sido formuladas relativas a teorizações acadêmicas de vanguarda, dificilmente associáveis a experiência acumulada; (2) a ampla audiência do respectivo Seminário ter acertado respostas mais corretas, NA MÉDIA, do que as dos poucos estudiosos competidores, Figs. 2A e 2B [4]. Enfatizaram-se assim conclusões de que: (a) não cabe formular quesitos em protótipos para apoio a teorizações inovadoras; (b) existe inegavelmente uma aquisição "probabilística" de "experiência (judgment)" (com I.C. por determinar e apertar) em assuntos abordados na prática profissional razoavelmente reconhecida; (c) as teorizações determinísticas da geotecnia estão sujeitas a indeterminações probabilísticas dos procedimentos de cálculos, geradas por práticas grosseiras históricas, até mais condicionantes do que as dispersões de parâmetros diretamente intuídas. (Vejam-se as resistências, e a equação adotada).

Foram inúmeros os casos intermediários em que se repetiram sistematicamente uns graves lapsos conceituais frente às realidades da engenharia civil-geotécnica. Na literatura técnica quase nunca se incorporam comparações: (a) de fases sucessivas de aprimoramentos das soluções, com justificadas relações benefício / custo; (b) do grau de proveitos entre soluções (já experimentadas) anteriores e as de novas proposições aprimoradas (carentes da experiência associada); (c) de considerações econômicas e logísticas; (d) do reconhecimento de ser inerente à engenharia civil não pretender "acertar no alvo da solução deterministicamente certa do que deve ser o comportamento", e sim, procurar garantir (com margem minimizada de sobrecusto) "não acontecer o que é indesejado"; (e) de que neste mister geral da engenharia civil acentua-se ainda mais a responsabilidade de tal meta na GEOTECNIA-GEOHIDROLOGIA, indissociável dos princípios de equilíbrio ambiental de baixo FS perante a seleção natural sob minimização de energia superabundante.

O caso IMPCOL-CIRIA recente sabiamente já se restringiu a uma componente definida do mais freqüente uso, a carga de ruptura de um estacão, sem avançar para a mínima complexidade de projeto de fundação com o uso respectivo. Ainda assim, e já agora em demasia, o caso clama por um "basta" às irracionalidades de determinismos, e de **NORMATIZAÇÕES/CÓDIGOS** (segundo as rotinas cristalizadas). Exigem-se as relativizações probabilísticas progressivamente calibradas **ESTATISTICAMENTE** do passado, e expressas judiciosamente ora por **PROPORÇÕES**, ora por **DIFERENÇAS**. É liminarmente chocante e inaceitável que persistam lado a lado tantas teorizações/proposições, sem depuração de maior/menor validade quer perante o passado (incalculável baú de dados), quer em franco **debate intramuros** de reconsideração atualizante: sendo nosso propósito único o de **melhorar a abertura da porta E.P.** em comparação com a **PORTA FECHADA DAS RECEITAS QUE VIRARAM DOGMAS**.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> *Quantas são as teorias/(procedimentos de cálculos) empregados em hidráulica, em estruturas (de aço e concreto)? Uma a duas? Não ultrapassou a hora de se expor com franqueza quais os comparativos ICs dos procedimentos 1,2,3,4...12, sustentados em seus universos (sempre um tanto distintos)sem qualquer base, salvo a de geralmente levarem a segurança e custo exagerados? A liberdade provida pela busca da pedra filosofal determinística passou ao grau de libertinagem.*

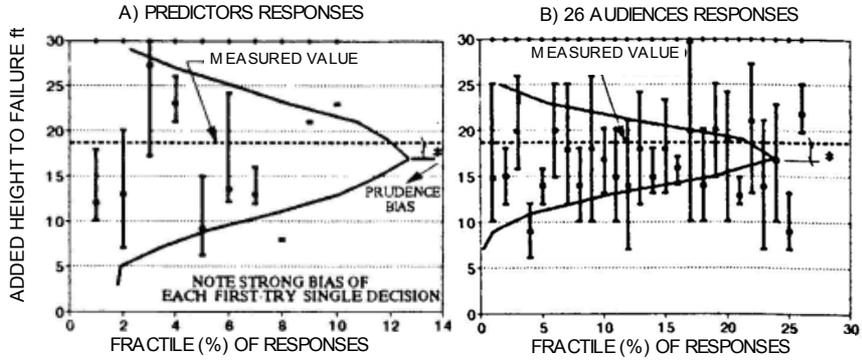


FIG. 6 - M.I.T. 1974 CHALLENGE "PREDICTION vs. PERFORMANCE".

Figure 2A

7A) CURIOUS PROFILES OF STRENGTHS, & EMBANKMENT DATES

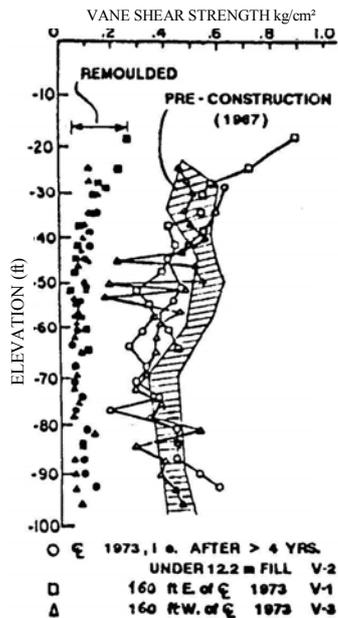
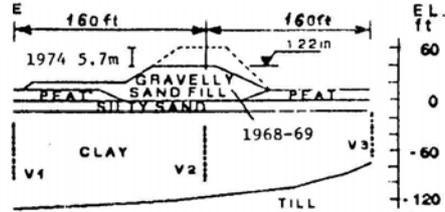
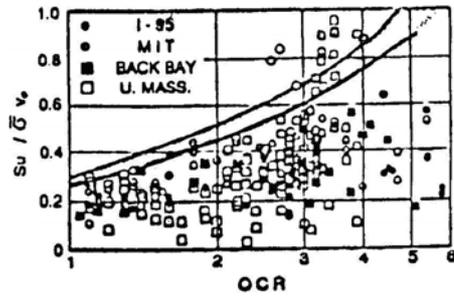


FIG. 7. M.I.T. 1974 TESTS, EXAMPLES OF EXTREME ERRATICITY OF DATA, SOME CONTRARY TO LOGIC, INTERFERENCES OF EQUIPMENT, PROCEDURES, PERSONNEL TO UNUSUAL DEGREE.



7B) U AND UU TESTS ON OVERCONSOLIDATED BOSTON BLUE CLAY



A) M.I.T. - 1974

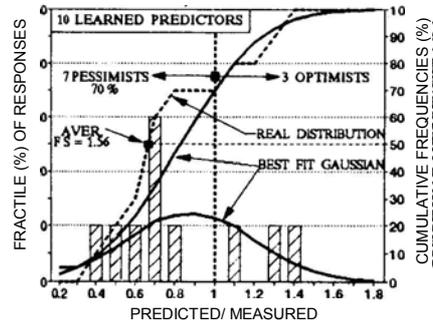


FIG. 8 - COMPARATIVE STATISTICAL ANALYSES OF 1974 CHALLENGES.

Figure 2B

É absolutamente **indispensável prover umas metodologias de fácil uso e sistematização habitual sustentável**, para as progressivas comparações racionais E.P., provendo resultados em termos de AZARES PROBABILÍSTICOS GLOBAIS RESULTANTES em baixas recorrências (ex.  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ , etc...) análogas às referidas (conquanto pouco compreendidas) com relação às demais vicissitudes das realidades humanas e tecnológicas. E, munidos de tais valias relativas das diferentes RECEITAS, é indispensável sistematizar os DESCARTES por menores méritos quantificados. Não havendo ILUMINISMO nem CULMINAÇÃO DO SABER, tudo será comparativo com hipóteses transitórias idênticas, em ciclo fechado, e progressivamente aprimoradas.

Ressaltando a gravidade da lacuna atual assinalo esperarmos logicamente que representações E.P. devem ser prioritariamente procuradas nos comportamentos de DEFORMAÇÕES PRÉ-RUPTURA. Referimo-nos portanto aos 1º e 2º Simpósios Internacionais [5] e [6] consignando que: no 1º com 147 artigos, 1256 páginas e; no 2º, 146 artigos, 1415 páginas só ocorreram, no segundo, 5 figuras de dados com análise Estatística.

## **2. AUTOS DE FÉ LIMINARES DE ACEITE/DESCARTE.**

### **2.1. Princípios Propostos.**

Num trabalho como o presente, de meta priorizada inicial de SIMPLIFICAÇÃO CONVINDATIVA, e com as limitações práticas correntes, resulta importante consignar uns conceitos práticos fundamentais, pertinentes à Geotecnia, que obrigam a reavaliar para aceitar/descartar muitas proposições da Estatística "Pura" (matemática, de abstrações). Entre elas situam-se como exemplos (a) os índices não-comunicativos para usuário, cliente e público (b) as proposições demasiado simplificadoras-generalizantes perante metas subliminarmente pressentidas (c) as análises parciais, incorporantes de irracionalidades despercebidas (d) as abstrações matemáticas demasiado eruditas ditadas na busca de "melhores acertos idealizados nos extremos de zero e infinito" melhoras essas que são avidamente solicitadas sobre um esboço básico, seja corrigindo o próprio básico, seja assinaladas como singularidades (e) etc.

Acredito que por várias formas e fontes a Sociedade já se acostumou a raciocinar em termos comparativos de azares em acontecimentos e atuações diversas da vida, inclusive diferenciando entre riscos menores e maiores, e entre azares enfrentados por escolha e os sofridos como vítima, e vítima confiante desinformada comparada com a informada e conscientizada, inclusive com possível cobertura de seguros. Reproduzo a título de exemplo as tabelas publicadas por Christian, Ladd, Baecher, Fig.3A [7] e Meyerhof, Fig.3B [8] dos "azares" associados a algumas situações correntes: pareceria importante lembrar que o Engenheiro é mero "agente especializado" e que o convencimento decisório tem que ser para o CLIENTE/PROPRIETÁRIO/SOCIEDADE. Advirto porém contra qualquer aplicação de tais tabelas salvo como base para inícios de entendimentos, sempre individualizados e subjetivos, mas já em termos correntes de comunicações.

Enfatizando liminarmente a necessidade e desejo de promover um grande impulso a favor das comparações de diferentes "teorizações" e "práticas de investigação-parâmetros-projeto-cálculo" via distintas Probabilidades P de inaceitabilidades, temos que começar por seduzir a grande massa dos geotécnicos profissionais a empregarem e divulgarem seus resultados em função de REGRESSÕES R e ÍNDICES DE CONFIANÇA ICs bem simples. O "marco" de

livro profissional, Terzaghi-Peck 1948 (1967) com suas Receitas Generalizadas Simples RGS continua a ser usado em quase todos os escritórios de projeto no mundo: temos que estabelecer receitas igualmente simples de E.P. para aplicação sistemática maximamente difundida.<sup>2</sup>

Notemos inclusive a dupla ironia de perpetuação das RGS geotécnicas à custa da virtual exclusão das E.P.: (1) as RGS resultam na banalização da geotecnia prática a ponto de que todo e qualquer engenheiro civil generalista, estrutural, hidráulico, tuneleiro, etc, "sabe tudo" por não tomar conhecimento dos laboriosos avanços geotécnicos: (2) contraposto contra o uso confiante de poucas RGS dogmatizadas, o desejado avanço da E.P. só pode progredir com a divulgação e coleta de **multiplicidade de dados análise-síntese** estabelecendo as amostras Estatísticas E<sup>3</sup>.

Activity	Probability *
Voluntary individual risks:	
Air travel (crew)	1:1000
Car Travel (1984 British Columbia)**	1:3500
Construction	1:6000
Air Travel (passenger)	1:9000
Involuntary individual risks:	
Fire	1:50 x 10 <sup>3</sup>
Drowning	1:100 x 10 <sup>3</sup>
Lightning	1:5000 x 10 <sup>3</sup>
Structural failure	1:10,000 x 10 <sup>3</sup>
* Relative to population involved in the activity	
** For individual traveling 10,000 mi/yr	

Table 1. Annual Probabilities of Death of a Selected Individual from Various Activities (after R.T. Peck et al. (1987)).

Figura 3A

<sup>2</sup> Com todo o respeitoso constrangimento perante pessoas e realidades, mas respeito maior pelo futuro, reporto-me a um lapso conceitual e prático importante [9 e 10] criando uma hipotética ambiguidade entre a RGS de Terzaghi-Peck (1948), corrigida em (1967), no tocante a Momentos Atuantes e Resistentes em Análise de estabilidade de talude. Onde entra o MOMENTO NEGATIVO (do peso), somado ao Resistente no numerador, ou subtraído do MOMENTO POSITIVO no denominador? A questão não é de álgebra, e sim intrínseca do comportamento tensão-deformação: ambos os Momentos, positivo e negativo, são de "cargas moles", independentes de tensão-deformação, e inexoravelmente pertencem JUNTOS: o Momento da RESISTÊNCIA DO SOLO é uma reação, depende de uma tensão gerada por deformação. Note-se que já no caso da estática do Muro de Arrimo ([10], usada desnecessariamente para promover a E.P., a própria carga atuante deixa de ser "mole" requerendo reapreciação mesmo na visão determinística.

<sup>3</sup> Imagine-se só os tesouros de dados de PROTÓTIPOS disponíveis nos arquivos das empresas executoras geotécnicas especializadas!

	Structure	Probability of failure	Reliability index, $\beta$ (**)
	Geotechnical works:	(*) Postulada e proposta	
1	offshore foundations	$1 \times 10^{-2} - 4 \times 10^{-3}$	2,3 - 2,7
2	earthworks	$4 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-3}$	2,7 - 3,1
3	retaining structures	$1 \times 10^{-3} - 4 \times 10^{-4}$	3,1 - 3,4
4	foundations	$4 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-4}$	3,4 - 3,7
5	Reinforced concrete structures	$5 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-5}$	3,3 - 4,3
6	Steel structures	menor que $1 \times 10^{-4}$	maior que 3,7

Table 1. Probability of failure and realibility index [9]. (\*\*) Fiabilidade

(\*) Probabilidades previstas por cálculo: como e onde comprova(das) (veis)?<sup>4</sup>

Figura 3B

Só progrediremos com um ataque simultâneo por dois flancos: (a) simplificando sedutoramente umas RGS para a E.P., e (b) por outro lado expondo que (b1) um dos fatores mais condicionantes na validez e fiabilidade dos Projetos é justamente o fator DETERMINÍSTICO DA TEORIZAÇÃO (DOGMATIZADA) EMPREGADA (b2) o quanto muitas das RGS geotécnicas incorporavam práticas flagrantemente ridicularizáveis.<sup>5</sup>

Julgo oportuno e indispensável consignar meu caveat, do qual só me redimo através de ponderadas compartimentações das propostas complexas-globais, e pelas valias imediatas esperadas indiscutíveis com RELAÇÕES BENEFÍCIO-CUSTO COMPARATIVAS, inexpugnáveis por "fecharem em círculo". Confesso estar neste ensaio bem-intencionado muito distanciado das lucubrações mais puras da E.P. formal, o que deve ficar patente aos que labutam naquela área: pelo que peço apoio de correções-ajustes-aprimoramentos, sem alterarem as metas prioritárias de RECEITAS CONVIDATIVAS abertas a avanços progressivos. Para tanto, tem que maximizar a exposição dos pontos questionáveis, e não minimizá-los ou disfarçá-los. Com relação à presente ousada primeira etapa submeto minhas proposições lastreadas na destilação de 55 anos de percepções quanto à história da Geotecnia Convencional e o presente momento histórico; às quais aduzo meus diagnósticos dos fatores influentes, tanto sociais-legais, Normas-Códigos, níveis de aceitação física de danos, etc..., como de alguns índices e práticas corajosamente oferecidos para as bases da GEOTECNICA PRÁTICA PROFISSIONAL. Adiante frisarei a importante subdivisão nas etapas sucessivas de ESTATÍSTICA (inclusive distinguindo entre condições do subsolo, e maciços construídos), PROBABILIDADES, e DECISÕES.

<sup>4</sup> É muito estranhável que os Azares não tenham sido expressos incluindo o tempo, analogamente, ao caso de passageiros x milhas nas viagens (3A): tanto perante episódios fortemente solicitantes como perante deteriorações com o tempo, é muito significativa a interveniência do tempo de vida útil.

<sup>5</sup> É indispensável reportarmos sempre aos contextos históricos das iniciativas, ajustando-as respeitosa e quando dissecadas e compreendidas. No item 3 submeto apreciações pessoais específicas, reiterando a infelicidade freqüente que "das soluções de uma geração nascem os flagelos da próxima".

Contando com o enorme acervo dos 60 anos de realizações, sempre frisado como base do indispensável CRITÉRIO (JUDGEMENT), é indispensável escolher as PRIORIZAÇÕES SISTEMÁTICAS, enfatizando ser muito mais RACIONAL e FÉRTIL a seqüência :

a) Primeiro, o exame RACIONAL e ESTATÍSTICO do disponível, reconhecendo sua realidade "grosseiramente aproximada" no início, e continuamente alterada por aprimoramentos determinísticos, REQUERENDO AJUSTES JUDICIOSOS;

b) Segundo, e só em segundo passo, os aprimoramentos puristas matemáticos das PROBABILIDADES, para os fins inescapáveis de PREVISÕES e EXTRAPOLAÇÕES, sem, porém, olvidar que (1) não há nada mais determinístico do que uma EQUAÇÃO MATEMÁTICA, mesmo se entendida como probabilística (2) é inapelável o postulado de prudência de nunca se extrapolar demais num só passo (3) na formulação erudita bem-intencionada de uma melhor compreensão e atribuição da CONDIÇÃO PROBABILÍSTICA REALMENTE APLICADA, não intervém uma " probabilidade da probabilidade " ?

c) Terceiro, e finalmente, em qualquer adoção presumida de uma orientação quanto a AZARES (não RISCOS) PROBABILÍSTICOS ACEITÁVEIS para níveis de DECISÕES (ex. Tabela de Meyerhof [8]), com que número de casos comprobatórios (de rupturas ou sobrecustos injustificados) se veriam probabilisticamente acatadas as faixas presumidas.

**Concordo in totum com a afirmação de Morgenstern [11] sobre a influência dominante das incertezas dos modelos teóricos e práticos usados** (e em uso persistente difuso) ("overwhelming influence of model uncertainty and human uncertainty") a primeira afetando toda a profissão, e a segunda se sobrepondo em circunstâncias individuais. Por exemplo, discutirei a crescente dominância dos puristas probabilísticos de se preocuparem com a VARIABILIDADE ESPACIAL na Natureza, e a preferência por um índice (FIABILIDADE) que resulte numericamente quase igual, qualquer que seja a PDF (inicialmente desconhecida). Postulo o contrário: "Natura non facit saltus" (especialmente à escala das obras correntes) e é nocivo um índice que suprima a exposição dos fatores condicionantes (sobre os quais se debruçar ulterior e progressivamente).

## 2.2. Conceito e realidade do AZAR ZERO, A.Z. <sup>6</sup>

É demasiado repetitivo o refrão dos estatísticos matemáticos de que não existe o A.Z., e o difícil para nós é convencer a Sociedade (1) de que não importa o quanto nos esforcemos, sempre haverá um algum "azar" probabilístico, por menor que seja (2) de qual o valor diminuto de azar (probabilidade de comportamento indesejado, de DETERMINADO CENÁRIO) a adotar em função do risco. O azar tem que passar a ser "residual".

Reitero convicto o fato de que existe, sim, o azar zero [12] pois que é a realidade FÍSICA a que impera e não a abstração MATEMÁTICA a ela atribuída, bastando ao engenheiro, executor,

---

<sup>6</sup> *Têm sido empregados intercambiados os termos "azar" e "risco", tornando agora importante evitar confusões, passando a respeitar uma diferenciação firme, por decisão imposta e acatada, e em seguida tornada habitual. O Comitê Internacional de Barragens tomou a iniciativa de usar "azar" para a probabilidade da ocorrência, e "risco" para o produto de tal azar e o custo (ônus) consequente. Pelo direito de primazia proponho que padronizemos o emprego dos termos desta forma.*

implementar a apropriada mudança de universo físico incluindo nele, conforme couber, as "regras operacionais da obra". É zero o azar de um aterro sobre argila mole (sem solicitações adicionais, imprevistas, tal como um sismo) romper por deslizamento da fundação após a demorada dissipação das sobrepressões neutras, beneficiando a resistência.

Reconheçamos inclusive o dano sociológico que possa ser gerado por imiscuir presunções de azares não-zero em acobertar "ruínas" determinísticas de erros humanos, inclusive das ignorâncias sempre progressivamente reduzidas, e bem-intencionadas idealizações aprimoradas.

### 2.3. Ilusões incorporadas nas Equações da Estatística dos Extremos, E.E.E. .

Os danos imensuravelmente catastróficos (infinitos  $\infty$ ) associados a rupturas por galgamentos de barragens granulares, por motivo de insuficientes capacidades de Vertedores (quando, inclusive, rios e represas estão em condições de enchentes máximas) levaram a HIDROLOGIA convencional a recorrer a diferentes equações E.E.E. (de episódio máximo maximumum hipoteticamente sempre por vir) na busca de melhores ajustes de valores de enchentes máximas (anuais) para PROJETO, com probabilidades ínfimas (infinitésimas,  $1/\infty$ , atualmente reduzidas de 1/1000 a 1/10000).<sup>7</sup>

Abstenho-me de incluir este tema na presente apresentação, por razões práticas, porquanto tais E.E.E. ainda não chegaram a ser propostas para as "ruínas postuláveis" dentro da geotecnia aplicada: e, adiante permito-me enfatizar que, frente às metas de purezas probabilísticas, a inserção de equação matemática pré-selecionada (para a extrapolação, meta inseparável) constitui uma flagrante dicotomia, da **incorporação do máximo do determinismo, para o extremo do "probabilismo"**. Será que a Natureza, além de se comprovar com brilho em pós-doutoramento das equações matemáticas, também se arregimentou na obrigação de respeitar a tal grau remoto de precisão nossa erudita equação?

Já enfatizei [12] o já amplamente reconhecido fato de que a variedade das E.E.E. oferecidas leva a enormes diferenças à medida que se desce a baixos níveis de probabilidade. Várias investigações feitas em indústrias mostraram ser difícil antever que equação melhor atende à "realidade" (com ICs de "médias" e de "pontos") quando se chega a 1000, 10000 ensaios, etc. Cada fenômeno complexo funciona com base em muitos parâmetros quase igualmente condicionantes, mesmo quando o agente provocador é perfeitamente único e homogêneo, e uma determinada teoria idealizada (p.ex. a do elo mais fraco, em tração, Weibull) pode não se demonstrar compatível "no extremo". Reitero portanto a crítica conceitual quanto à indeterminação de  $1/\infty$  vezes  $\infty$  [12], recomendando implementar a mudança de universo físico.

Num estudo colateral procuro perseguir a título ilustrativo de procedimentos, com dados reais de recorrências de cheias de bacia longamente documentada, incorporando as dispersões e ICs

---

<sup>7</sup>Procedimento este já complementado (ou, melhor dito, substituído) por formulações denominadas de P.M.P. e P.M.F. (Probable Maximum Precipitation, ou Flood) composições de cálculos computadorizados incorporando inúmeros parâmetros contribuintes e intervenientes, presumidamente maximizados. Tais procedimentos também se demonstrariam questionáveis, sob análises argutas, quanto a inconsistências de racionalidade.

(de pontos, não médias), o que resultaria de uma seqüência lógica "de auto-entrega à Natureza" trabalhando com amostra progressivamente maior de dados. É um exercício profissional importante na programação de etapas sucessivas de investigação, para aquilatar relações benefício/custo. Admitamos que o profissional não pertença a alguma escola DETERMINÍSTICA de usar GUMBEL ou PEARSON, etc.. ou algum outro bem-intencionado mentor e equação. Sabemos que os cálculos de ICs suscitam merecidas críticas puristas por empregarem (muito correntemente) a distribuição Gaussiana<sup>8</sup>. Mas já que alguma PDF tem que ser admitida, o que é **menos desfavorável**? Subjugar-se a um determinismo ilusório e iludente, e olvidar a probabilidade de erraticidade/dispersão (ajustável melhor em anos ou décadas vindouras?), ou **criar e manter desde já uma sistemática**, reconhecidamente aproximada e pragmática, suscetível de aprimoramentos? Prosseguindo, emprego provisoriamente a também criticável hipótese de que a probabilidade de 1% de excedência de uma recorrência de 1:100 possa ser usada em termos pragmáticos comparativos como (1:100) (1:100)  $\approx$  1:10000. Estamos deixando de lado várias lucubrações puristas probabilísticas e as variações FLUTUANTES. Mas, quanto a estas, que outro processo as considera honestamente, com humilde respeito pela "realidade" desconhecível ?

Retornando à engenharia geotécnica, com "equilíbrios transitórios complexos" de muitos parâmetros em mini-evoluções lentas de seleção natural podemos ponderar: (a) sendo "instável, lenta ou rapidamente" a condição da seleção natural sob muitos parâmetros competindo pela "realidade em variação, de qual o mais dominante", todas as regressões teriam que ser múltiplas, o que é impossível no universo dos protótipos, em que já é difícil a própria regressão apenas binária; (b) jamais ultrapassamos de poucas dezenas de casos razoavelmente análogos como amostra do universo estatístico, especialmente no que tange a protótipos; (c) as almejadas baixíssimas probabilidades (ex.  $10^{-3}$  a  $10^{-4}$ ) de ruína tem que ser buscadas pelas composições de sucessão de baixas probabilidades tangíveis (ex. 1:20, 1:50, 1:100) de fatores componentes.

#### 2.4. Heranças genéticas diversas "poluidoras" da geotecnia candidamente expostas.

Não se me escapa da memória de jovem engenheiro uma palestra do famoso Hardy Cross no M.I.T., por volta de Abril de 1946. Alertou-nos que o Engenheiro Civil buscava quase exclusivamente as relações lineares. Tentava primeiro o gráfico aritmético<sup>9</sup>: se não encontrasse a razoável **linearidade visual**, partia para os gráficos semilog, que já acomodavam muitos casos; finalmente, se ainda mal sucedido, partia para o gráfico log-log. Tudo se acomodava dentro da linearidade visual colimada: a custo de que dispersão não importava ao oferente da "correlação", desesperando apenas o jovem profissional encarando opções entre 1/2.5 e 4 vezes o valor central, Fig. 4 [13]. Na Fig. 5A situamos as 4 equações (já melhoradas por regressões)

---

<sup>8</sup> *Note-se que no caso de ensaios geotécnicos sobre corpos de prova, relativamente poucos, existe o refúgio pragmático no conceito de que são "infinitos os elementos de solo (representados)" que atuam no maciço geotécnico, o que permitiria a distribuição Gaussiana.*

<sup>9</sup> *Era inclusive a época da compra sistemática de folhas impressas destinadas às linearizações **graficadas** de várias equações menos usuais. Retornarei à exposição de algumas das fundamentais idealizações, teorias, e práticas laboratoriais, insuspeitas quanto à questionabilidade, que tem tal "impureza sanguínea de origem" enquanto passam a ser empregadas e discutidas em níveis de avançadas sofisticadas E.P.*

em avanço sobre a prática inquestionada sistemática de “traçado a olho” que continua a ser usada continuamente, INCLUSIVE NA DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS MAIS INTRÍNSECOS/ÚTEIS (EDOMÉTRICOS) DAS ARGILAS (item 3.2). E na tabela da Fig. 5B expomos a que margens de erro (máximo entre duas semilog) ficamos expostos, como projetistas, nas extrapolações além do campo experimental de origem, desidério e necessidade automáticos.

Como elevada porcentagem da cultura do ser humano é adquirida visualmente, resulta imediata a reflexão retroativa para o esforçante bidisciplinar ENGENHEIRO GEOTÉCNICO/ESTATÍSTICO-PROBABILÍSTICO, o quanto da geotecnia histórica (bem intencionada e útil em suas metas e tempos) exige de reformulação vestibular para uma nova era E.P. Replitamos sobre o quanto partiu das amostras amolgadas homogêneas de Boston Blue Clay, e passou para as argilas do México, Londres, Escandinávia, Terciárias de São Paulo, Residuais Tropicais, e amolgada caolinítica CAM.

O propósito prioritário do primeiro passo da Geotecnia foi o de estabelecer as "leis fundamentais" semi-quantitativas dos comportamentos dos solos, sob a lei máxima do PRINCÍPIO DAS PRESSÕES EFETIVAS, e, inclusive, buscando distanciar os solos dos materiais de construção (então correntes). Precisava-se categorizar a “família (sobrenome)” dos solos. Buscar negar o comportamento "elástico-linear", frisar a acentuada importância das velocidades de carregamentos e deformações (nos solos saturados), enfatizar a **irreversibilidade de tensões-deformações** estabelecendo a MEMÓRIA DA PRESSÃO MÁXIMA DE PREADENSAMENTO, etc.<sup>10</sup>

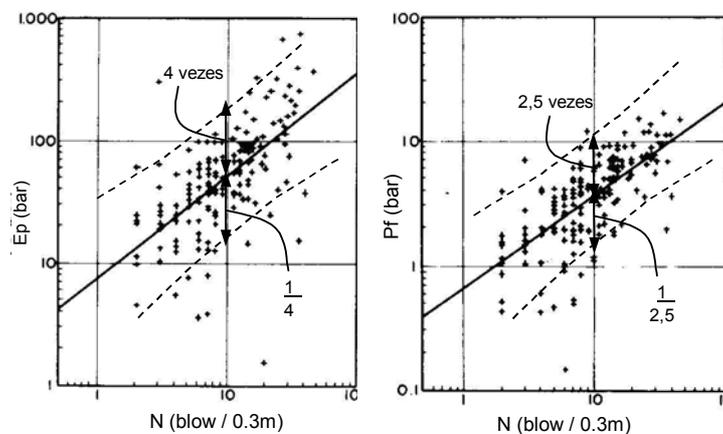


Fig. 2.(e) N values-pressuremeter parameter relationships (diluvial clayey soils)

Figura 4

<sup>10</sup> Adiante resumirei umas conseqüências sobre os ENSAIOS NORMALIZADOS (já hoje inquestionados), e suas nefastas conseqüências quando extravasados da função única válida e benéfica das NORMAS e CÓDIGOS para uso como "base de referência para uniformização comunicativa". Ademais, exemplificarei algumas ironias de que estas batalhas ganhas da época foram revertidas acentuadamente nas batalhas ulteriores da guerra da generalização contra a respeitosa individualização (sistematicamente acobertada sob a conclamada necessidade do "critério experiente", "judgment").

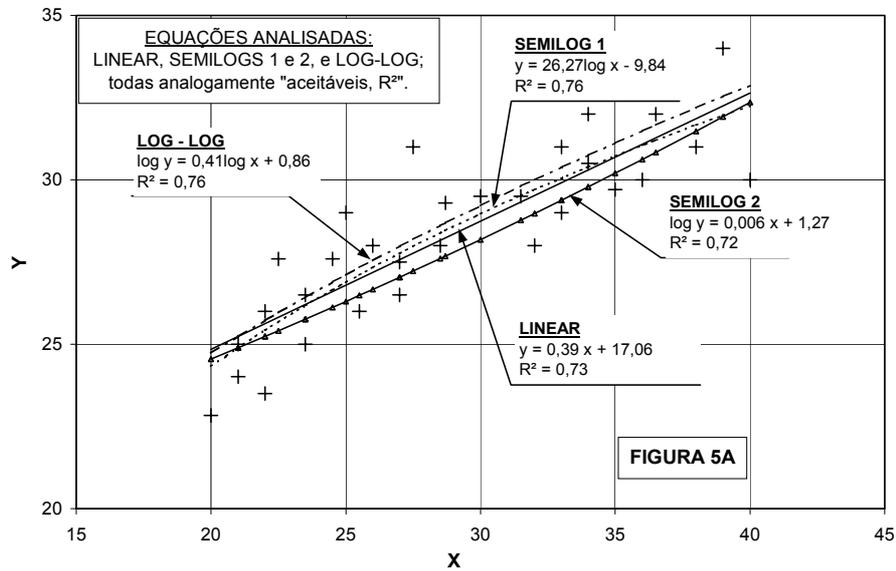
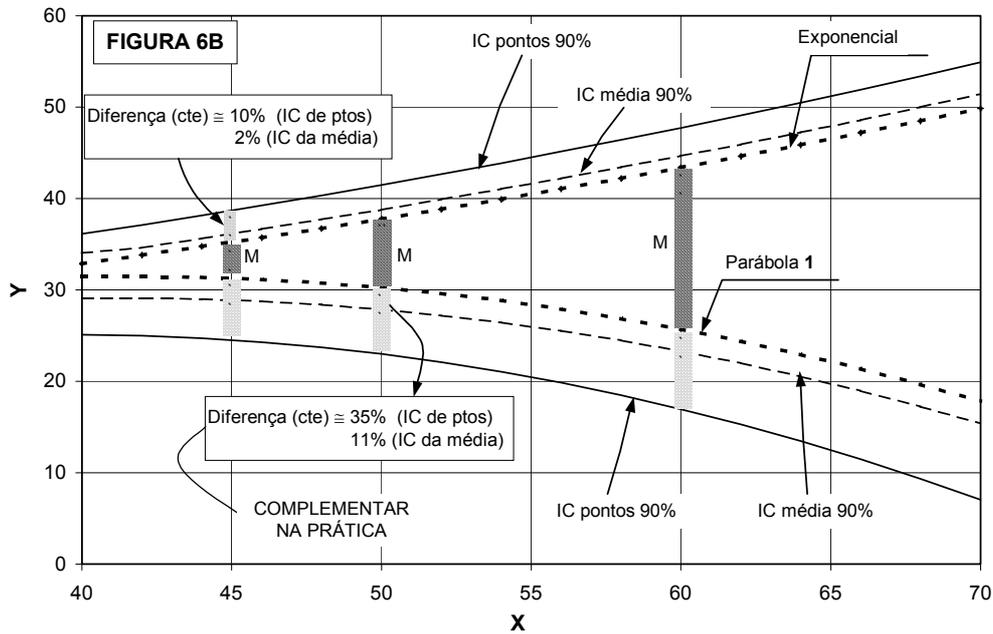
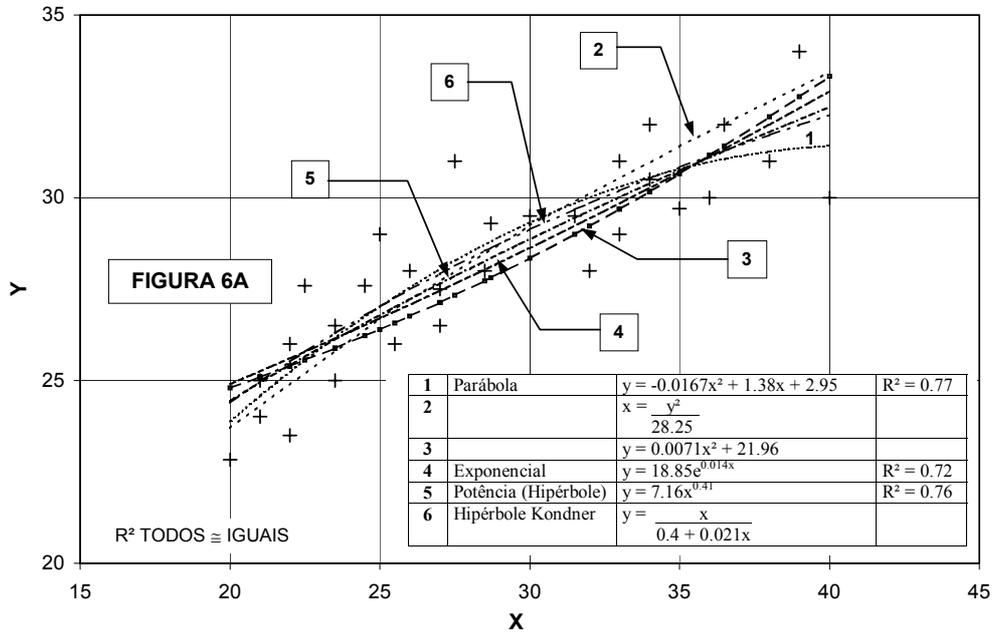


Figura 5B

Extrapolação (%) no valor X=40	12.5	25	50
%máx. de erro	4	7	16

Tabela - Erro introduzido nas extrapolações, sem incluir ICs.

Nas Figs. 6A, 6B e tabela da Fig. 6C empregamos os mesmos dados arbitrários (X, Y) das faixas  $20 < X < 40$ ,  $22 < Y < 34$ , já agora para otimizar regressões de Parábola, Potência (Hipérbole), e Exponencial, todas chegando a valores  $R^2$  análogos, razoáveis. Corresponde a uma condição sem teoria idealizada preconcebida, libertando os dados experimentais para indicarem sua melhor representação. Incorporamos também 2 equações de formulações teóricas muitíssimo usadas, a Parábola simples do "adensamento primário dominante", e a Hipérbole de Kondner, de uso generalizado para curvas Tensão-Deformação. Em primeira instância ressalvo ser indiscutível louvar-se os **procedimentos conjugados, passo após passo, dados, idealização, dedução matemática, recomparação com dados**, inclusive acatando um pequeno período (de coleta de amostra estatística) forçando demais casos dentro da mesma "camisa de força": exigem-se apenas os incessantes progressivos empregos de E.P., e ajustes cabíveis C.A.. Em segunda instância reiteramos a proposição imperiosa de não se limitar aos **R<sup>2</sup>, insuficientemente identificantes e comunicativos**. Em terceira instância enfatizamos o Axioma da prudência recomendada pela Prática Profissional Experiente na Engenharia Geotécnica: "Não extrapolar em mais do que 10-15% a cada passo a experiência já satisfatoriamente absorvida de protótipos quanto a pormenor significativo" (isto mesmo quando empregando com respeito determinístico a própria equação da regressão). **É imperativo que toda regressão consigne os limites de seu campo de dados de base**. Finalmente aproveitamos para incorporar na Fig. 6B os ICs nominais, tanto de MÉDIAS como de PONTOS, resumindo na Tabela da Fig. 6C também as muito maiores faixas de erros probabilisticamente possíveis (entre máxima e mínima regressão) em comportamentos **DÚCTEIS** (médias) e **FRIÁVEIS** (valores pontuais determinantes).



Extrapolação $\Delta X(\%)$ no valor $X=40$	12.5	25	50
Posição X	45	50	60
%máx. de erro (M)	14	25	68

Figura. 6C - Tabela - Erro introduzido nas extrapolações das equações, sem incluir ICs.

## 2.5. Resumo de proposta de RGS para E.P.

Dentro do propósito prioritário de simplificação a nível prático de ENGENHARIA GEOTÉCNICA, esforço-me por expor algumas das flagrantes "lacunas e lapsos" da própria origem da geotecnia, muito mais condicionantes por DETERMINISMOS. Passo a apelar a que os brilhantes e bem-intencionados emanadores das avançadas teorizações de E.P. a aplicar reflitam e discutam sobre a aceitabilidade das seguintes RGS de E.P. como primeiro passo. Até o presente, **mal avançamos da "correlação" desenhada à mão livre** para representar a dispersão de pontos graficados, para a determinação de uma equação de regressão, por vezes com seu desvio padrão, ou variância, coeficiente de variação, ou  $R^2$  (índice falido para o profissional acólito) que tão pouco orienta que tem aparecido em valores até absurdamente baixos ( $\leq 0,3!$ ). E isto em pequeníssima proporção de publicações técnicas, das melhores. Não me acanho de interpretar que o geotécnico profissional dedicado fica tão preocupado com as sucessões de publicações eruditas, em número cada vez maior, que se refugia do campo E.P. até mesmo em níveis humildes, já grande passo para frente por princípio e por prática. E assim passa o tempo perdendo-se a oportunidade de começar a rever e valorizar os acervos.

Reitero as seguintes premissas básicas.

### 2.5.1. Termos diversos e CRENDICES DE NORMAS-CÓDIGOS, a excluir liminarmente.

A Engenharia Geotécnica almeja tomar decisões não tanto "do que vai acontecer" (DESAFIOS, um tanto acadêmicos, PREVISÃO CONTRA COMPORTAMENTO) mas do que se "pretende não permitir que aconteça", por graus de relevância. Trabalhamos por CRITÉRIOS DE REJEIÇÃO<sup>11</sup>. Por ex: não queremos que um edifício de acabamento bom recalque mais do que 2 a 5 cms., e não importa se resulte 2,7 ou 4,4 cms.<sup>12</sup> Neste sentido colimamos a FIABILIDADE, mas obviamente aprimorando tanto a ACURÁCIA (acertar na mosca) como apertando os Intervalos de Confiança ICs. Nos intuitos de aprimoramento é importante aquilatar onde mais convém atuar, melhorar a acurácia ou apertar a dispersão. Para melhorar a acurácia, de previsão de comportamento médio, para fins práticos profissionais não deixa de ter mérito (temporário) a adoção dos COEFICIENTES DE AJUSTE, para minimizar o caos da criação de mais e mais métodos novos (a cada insatisfação), nunca deixando coletar quantificação E.P. sobre determinado procedimento, sendo todos eles bem relativos.

(A) ÍNDICE DE FIABILIDADE [7]. Reconheço, difidente, que a maior proporção dos brilhantes Colegas probabilísticos de vanguarda esposam este ÍNDICE. Porém

---

<sup>11</sup> *Distinguindo-se marcadamente dos trabalhos teóricos (maior proporção das publicações) em que interessa a acurácia (a ser expressa com ICs).*

<sup>12</sup> *Observe-se a freqüente grande falácia de automaticamente apreciar a faixa de erros em porcentagem, progressivamente mais frustrante à medida que se apertam as exigências. É importante escolher quando avaliar por proporções, e quando por diferenças. O "erro" supra de 160% é reconhecidamente inconseqüente, importando no caso a diferença, o recalque diferencial específico. Adiante ressaltarei, como exemplo o problema do ÍNDICE DE SOBREADENSAMENTO, OCR, e múltiplas interpretações resultantes (item 3.2).*

proponho deixá-lo de lado por razões já mencionadas parceladamente, entre as quais: (a) englobar como randômicos demasiados parâmetros de segunda ordem, alguns bastante bem regidos por "leis Naturais"; (b) procurar encobrir variações desconhecidas(veis) de PDF com ÍNDICE que independe das mesmas; (c) empregar ÍNDICE enigmático perante experiência da Sociedade salvo via GRÁFICO (Fig.7, de MÉDIAS?) para reportar às Probabilidades; (d) recair desapercivelmente numa incompatibilidade lógica de eventual associação de dados E.P. da vivência (Fig. 3A) com cálculos de previsibilidades presumidas (Fig. 3B); etc...

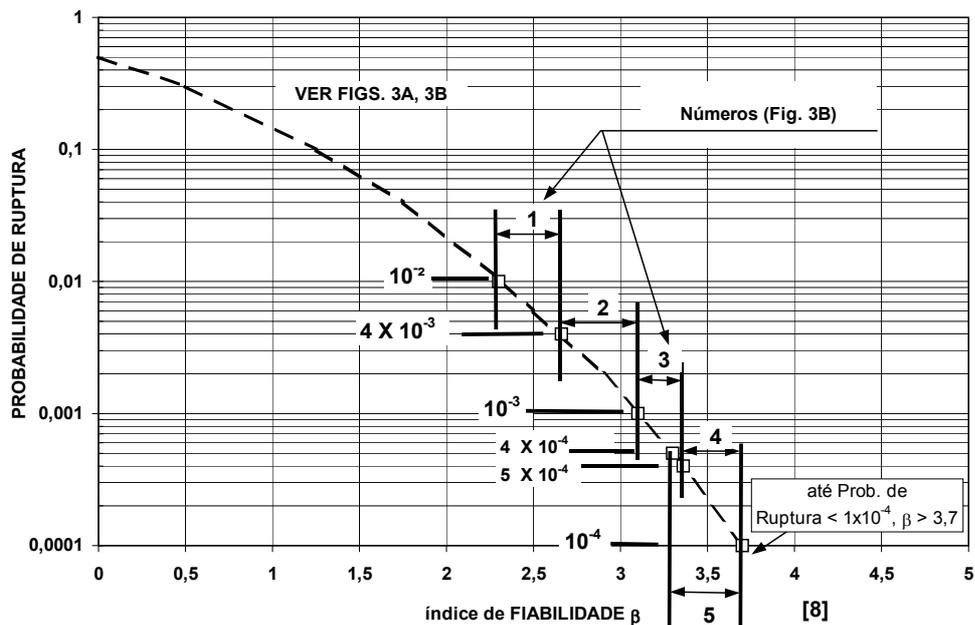


Figura 7 - Gráfico oferecido [7] para traduzir FIABILIDADES → PROBABILIDADES.

- (B) THREE-SIGMA RULE [14] . Proponho também apartá-lo liminarmente, inclusive por razões de conceito, porque mata no nascedouro qualquer entusiasmo pela E.P. como ferramenta para decisões, por fixar os ICs independente de suas conseqüências calculáveis. Obviamente uma tal RGS resulta exageradamente conservadora. Segundo Benjamin & Cornell (1970) pg. 143 os limites de rejeição de 1-, 2-, e 3- $\sigma$  SOBRE AS MÉDIAS representam "cerca de " 65%, 95% e 99,5% . A recomendação de 3- $\sigma$  é definitivamente muito exigente, além de ser irracional por ser "fixa". Repete-se também a mencionada lacuna da necessidade de ressaltar diferenças de ICs de MÉDIAS (compressões, cumulativas, comportamentos dúcteis, redes de percolações, etc..) e de VALORES PONTUAIS NÃO-ESPÚRIOS (friáveis, superfícies-espelho, "piping", etc..) com faixas de ICs bem mais largas.
- (C) NORMAS DE ENSAIOS, e CÓDIGOS, devidamente enquadrados. Advirta-se e/ou descarte-se com relação a PREVISÕES (probabilísticas) para **caso específico**. NORMAS para ensaios são redigidas bem-intencionadas bem no começo, para

servirem exclusivamente de base de comunicação uniformizada, de referência e comparação. Ganham valia Estatística com acúmulo de dados, em universo específico. Teriam obrigação de **serem revistas periodicamente (com data)** e, a cada alteração, consignarem (com um número razoável de dados estatisticamente analisados) os COEFICIENTES DE AJUSTE C.A. (**Relações ou Diferenças**) entre práticas, anterior e nova. Senão, perdem-se ou misturam-se confusamente os acervos. CÓDIGOS presumidamente só orientam quanto a requisitos mínimos, após alguma experiência: mas exigem a mesma atualização periódica, ajustada às novas experiências, e com novos C.A. analisados de Passado → Futuro.

Com o profundo respeito (já reiterado) pelo passado, assinalo apenas um caso, facilmente compreensível mas já imperdoável há 25 anos: ensaio de Limite de Liquidez de Casagrande (deixando de lado o Limite de Plasticidade, pior). Pretendia-se determinar a umidade para uma coesão amolgada mínima, repetitivamente mensurável (IC estreito) próxima de zero<sup>13</sup>. Deixemos de lado o questionamento quanto à lógica primária de inferir a coesão em função de um "escorregamento de taludes até encostarem no pé", por "pancadas" (dinâmico), mas reconheçamos ser bem grosseiro o ensaio. Enquanto isto, por sugestão Escandinava (há 45 anos) foi proposto e padronizado um ensaio de Penetração de Cone para avaliação da mesma coesão: tal ensaio foi bem comprovado ser muito mais consistente e repetitivo do que o de Casagrande, a ponto de que desde 1975, com publicações justificativas (inclusive [15] Categorizada), foi adotado nas Normas Inglesas (BS 1377). Nos EEUU a ASTM continua exclusivamente com o ensaio de Casagrande Norma ASTM D4318. Qual a consequência, que nada tem a ver com lucubrações E.P. ?

Uma consulta submetida há dois anos ao US Bureau of Standards foi prontamente atendida com o fornecimento dos resultados de uma pesquisa feita especificamente para conferir as dispersões sobre 20 solos,  $40 \leq LL \leq 65\%$ , na qual participaram entre 48 e 372 laboratórios bem conhecidos fide-dignos. Na Fig. 8 vemos que são amplas as faixas dos ICs: cabe enfatizar a significância do IC de valores pontuais, por ser bem raro empregar-se mais do que um laboratório num serviço profissional.

Ipo facto resulta estéril e inaceitável a prática já muito repetida ([16], entre outras [17]) de conduzir análises de P. e FIABILIDADES empregando presumidas E. de erraticidades publicadas, de fontes várias, como se fossem compatíveis. Estiveram ausentes os geotécnicos "experientes"?

Igualmente ao exemplo citado, e em grau muito maior e mais consequente, ocorrem erros e dispersões em toda a gama de parâmetros, nunca tendo sido investigadas e divulgadas suas E. e C.A. (relações e/ou diferenças): isto por uma mania de apresentar gráficos visualmente atraentes, mas de difícil destilação, síntese e memorização do criterioso julgamento das relevâncias.

**2.5.2.** Necessidade de revisão da programação otimizada de determinado conjunto de

---

<sup>13</sup> *Tecnologicamente é sempre imperativo não se aproximar demais do ZERO presumido, lapso cometido no índice das Densidades Relativas das areias (especialmente sujeitas a grandes erraticidades de ensaios com granulometrias desuniformes).*

## INVESTIGAÇÕES e ENSAIOS.

Está longe de caber no presente um histórico resumidíssimo dos capítulos marcantes louváveis da evolução do assunto:

- (1) ensaios estritamente empíricos de campo, e científicos idealizados de laboratório, conjugados com conceitos de "modelar protótipos";
- (2) descoberta estonteante da importância nevrálgica da ESTRUTURA-SENSIBILIDADE  $St^{14}$ , e das dificuldades-erraticidades de amostragem "indeformada", aprimoramentos sucessivos, sem C.As.;
- (3) com os advenços rápidos das Teorias e Fórmulas, e a esperança-desejosa de que ensaios-in-situ não sofreriam das desvantagens (2), desenvolvimento progressivo de plêiade de ensaios-in-situ "teorizados";
- (4) convivência de vasta gama de ensaios esposados por preferências subjetivas.

Inescapavelmente prevalecem subliminares as orientações geométricas, e do contínuo. Ora, perante a realidade atualizada permito-me enfatizar:

- (a) não havendo comprovada preferência por uma ou outra teoria-ensaio (conforme exposto) sugiro a validez do princípio de que a identificação de uma PERSONALIDADE COMPLEXA (o solo in Natura) é aprimorada quando vista de mais do que um ângulo, porém desde que não se aumentem as confusões caóticas;

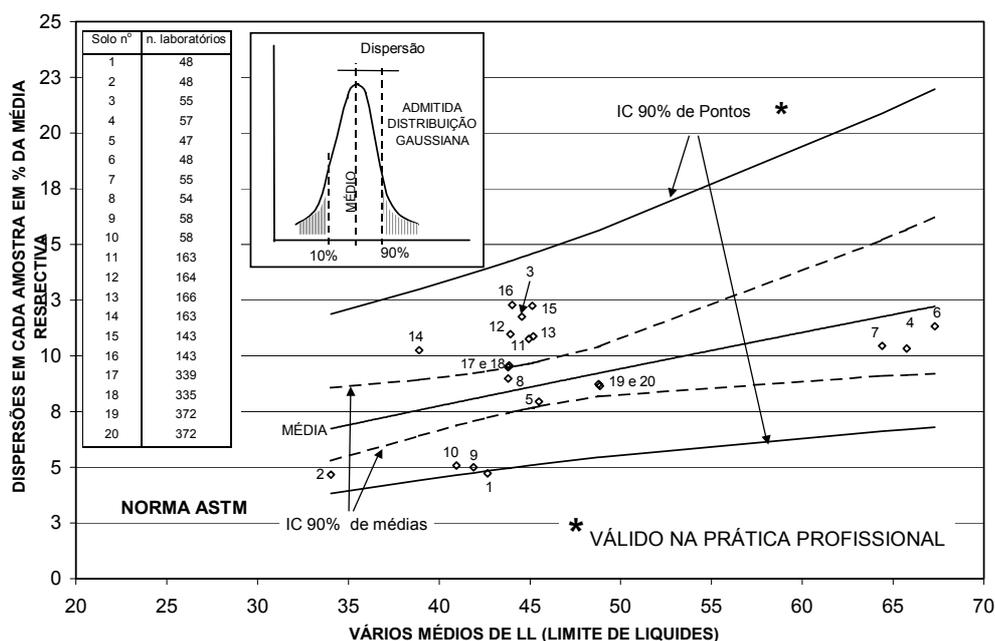


Figura 8 – Repetitividade de ensaio normalizado em diferentes laboratórios.

<sup>14</sup> Lamenta-se assinalar que grande % dos trabalhos dos últimos 10 - 15 anos progressivamente passaram a olvidar consignar os  $St$ , ensaio-índice simplíssimo.

- (b) investigar sempre no contexto da GEOLOGIA ,e procurando identificar-caracterizar o DESCONTÍNUO (se existente), pois todos os furos que não o encontrem ipso facto definem o CONTÍNUO;
- (c) concentrar mais ensaios nas faixas dos valores maiores e menores, ulteriormente interpolando para valores intermédios.

Sem querer entrar nas facetas geotécnicas (bem mais diferenciadas) valho-me dos dados (X, Y) já empregados para relembrar princípios elementares da otimização de amostragens estatísticas em indústrias, não só para apertar os ICs como para avaliar os prováveis incrementos benefício/custo com incrementos de dados "bem" ou "rotineiramente" distribuídos. Na Fig. 9A (Caso A) estão assinaladas a regressão e os ICs de 30 dados distribuídos rotineiramente em toda a gama. Na tabela da Fig. 9B estão os resultados dos outros dois casos: (1) Caso B: aumentam-se as concentrações dos dados de mesma família, 10 para cada bordo (reduzidos os da faixa central) (2) Caso C: aumentam-se mais 20 pontos da família, de 30 para 50, de novo 10 em cada bordo. Os gráficos respectivos são dispensados por serem absolutamente análogos.

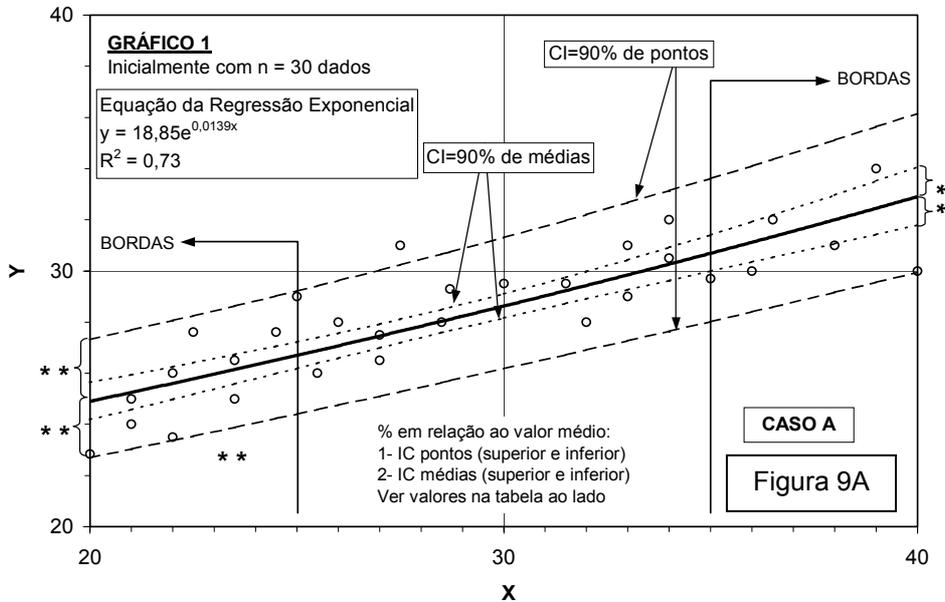


Figura 9B

% em relação à MÉDIA						
% IC PONTOS, SUPERIOR			PONTOS, INFERIOR			
	CASOS			CASOS		
X	A	B	C	A	B	C
20	+10	+7	+7	-9	-8	-7
30	+9	+8	+7	-9	-7	-7
40	+10	+8	+7	-9	-8	-7
% IC Médias, Superior			MÉDIAS, INFERIOR			
20	+3	+1	+2	-3	-4	-2
30	+2	+1	+1	-2	-1	-1
40	+4	+3	+2	-3	-3	-3

Configura-se apenas o princípio pragmático enfatizado nos EEUU, de começar pelos bordos, e em seguida "beliscar" ("pinching-in") . Demasiadas investigações geotécnicas distribuem os ensaios a êsmo ou geometricamente, olvidando o princípio supra como favorável à sucessão de fases de cálculos e decisões de projeto, anteprojetado, projeto básico, etc...

### **3. EXEMPLIFICAÇÃO DE EFEITOS HISTÓRICOS ESDRÚXULOS, E ERRATICIDADES, QUE PERMANECEM, E TRANSCENDEM DE LONGE AS APLICABILIDADES DE LUCUBRAÇÕES E.P. MAIS EXIGENTES.**

#### **3.1. Geral**

Já acenei com minha interpretação de que os profissionais dedicados à geotecnia têm sido intimidados na apresentação de suas próprias graves preocupações, em assuntos primordiais. Ocorrem em diferentes graus por todo o lado, com explicações históricas bem compreensíveis. Cito de passagem apenas dois, em seguida ampliando a exposição sobre o presumido mais primordial e grave.

- (a) Qualificação de distribuições granulométricas de areias, e efeitos sobre permeabilidades e filtros. Convencionou-se caracterizar resumidamente a granulometria<sup>15</sup> com o  $D_{10}$  e  $CU = D_{60}/D_{10}$ . Enquanto isto a velha referência de Hazen para permeabilidade (menos conseqüente) emprega  $D_{10}$  mas os critérios de filtros são fixados em função de  $D_{15}$  (almejar permeabilidade-drenabilidade adequada) e  $D_{85}$  (pretendendo garantir a "porosimetria de bloqueio" de partículas carreáveis). Os C.A. das permeabilidades de  $D_{10}$  para  $D_{15}$  seriam fáceis, mas de interesse subalterno. Os AZARES e RISCOS relativos a filtros, porém, são reconhecidamente importantíssimos, e referidos aos ICs de Pontos (comportamentos localizados, de extremos). Premido por preocupação e necessidade numa obra, perante misturas para compor filtros, empreguei [18] em 1954 o próprio critério de filtro para definir as granulometrias inaceitáveis "GAP-GRADED" com granulometria intermediária faltante. Firmou-se e divulgou-se o "critério-palpite", mas estudos recentes de comparações de areias-pouco-argilosas vs. argilas arenosas mostram que frações finas até cerca de 20%, em areias médias-grossas, não funcionam conjuntamente com a "estrutura" do todo. No outro extremo imaginem-se os limites possíveis de granulometrias grossas nos 40% acima do  $D_{60}$ ? Quais os comportamentos na execução (segregações, etc...) e em FILTROS (critérios, e realidades Probabilísticas?)

Reconhecemos as meritórias análises teóricas Probabilísticas de porosimetrias das areias, mas foram próximas de uniformes, e não teriam investigado variabilidades alcançáveis nas obras?

- (b) Ensaios triaxiais, pressões neutras e curvas tensão-deformação.

As pesquisas pioneiras com medidas (inevitavelmente um tanto grosseiras) de pressões neutras empregavam "agulhas" inseridas na posição central prevista do plano de ruptura

---

<sup>15</sup> *Esta desenhada a mão livre, em semilog, com peneiras propositadamente especificadas em escala geométrica para obter pontos igualmente espaçados. Não caberiam interesses em maiores concentrações de pontos experimentais onde mais conseqüente, e comparações E e C.A.?*

[19] procurando evitar adulterações de topo e base, e retardos. Seguiu-se extenso período em que categorizadamente se preferiu medir as pressões (nominais) no topo e base, inclusive carregando lentamente, para permitir a uniformização do  $u$  no corpo de prova, c.p. Não estaria ocorrendo um círculo vicioso de raciocínio, reconhecendo as tensões totais diferentes no centro, na posição e "na ocasião" da ruptura, conjugadas com uma pressão neutra MÉDIA no c.p., um tanto reduzida? Que C.As.? Agora que se mede  $u$  com instantaneidade e precisão espantosas, não caberia procurar recuperar uns C.A. sobre o histórico?

Igual importância recai sobre as curvas tensão-deformação triaxiais, vistas historicamente e agora obrigadas a reapreciação revolucionária (pós 1980±) pela coincidência da fantástica reviravolta em apreciações de micro-deformações e deformações laterais suscitadas pelos assuntos de sismos e vibrações. Profissionalmente importam muito as deformações conseqüentes pré-ruptura<sup>16</sup>. Classicamente em função da "lei de Hooke" os c.p. cilíndricos foram ipso facto interpretados por DEFORMAÇÕES ESPECÍFICAS<sup>17</sup>. Ocorre, porém, com bastante freqüência que numa certa fase pré-ruptura, e em todo o comportamento CONSEQÜENTE-CONDICIONANTE ulterior, os materiais passam a definir um plano específico de ruptura, ao longo do qual os dois corpos "nominalmente rígidos" se deslocam com se fosse em CISALHAMENTO DIRETO, C.D. É indispensável (a rotina passou a esquecê-lo) que seja visualmente observada-desenhada a deformação lateral sofrida pelo c.p. Lembro-me de ter aprendido esta lição do saudoso ilustríssimo Colega Manuel Rocha, gerada por ele por raciocínios límpidos de rupturas FRIÁVEIS e DÚCTEIS<sup>18</sup>, teorias da similitude, comportamentos de rochas decompostas, etc... Há trintena de anos incorporei o raciocínio conseqüente de que as análises FEM elásticas (e analíticas, Davis e Poulos, etc...) são apropriadas para as deformações módicas de estacas<sup>19</sup> (escavadas) nos maciços, porém, na fase próxima à ruptura a resistência é a C.D. (e em parte Cisalhante Simples C.S.) e a deformabilidade é definida por DESLOCAMENTOS (trigonometricamente transformados do  $\Delta l$  vertical para a inclinação do plano) e não pelas Deformações Específicas nominais  $\Delta l/l\%$ . Em tais ensaios a curva deveria ser repartida em dois trechos distintos. Em caso recente de corte profundo já tive que incorporar analogamente este raciocínio bifurcado.

### 3.2 ENSAIO EDMÉTRICO, MARCO INICIAL, E IMPORTANTE PARA 3 PARÂMETROS DE BASE, $\sigma'$ , $C_c$ e OCR.

Foi incalculável a importância, já octogenária, do ensaio edométrico, mesmo em seus admiráveis rudimentos iniciais, em definir a natureza básica dos comportamentos das argilas saturadas, caso extremo da "família dos solos". Grandes deformações volumétricas dominantes, lentidão de reações, irreversibilidades de compressão-descompressão marcando a "memória a

---

<sup>16</sup> *Análises de Elementos Finitos, etc...*

<sup>17</sup> *Uma publicação chegou a analisar diferentes equações da possível deformação lateral para conferir os C.A. nominais teóricos.*

<sup>18</sup> *Ver, por exemplo, a referência, Ferry Borges, J. e Castanheda, M., 1971 "Structural Safety", LNEC, Lisboa, pgs. 96-105.*

<sup>19</sup> *Os elementos do solo junto à parede da estaca sofrem C.D. enquanto o maciço distante de  $\geq (4 a 8) D$  deforma "elasticamente" pelas tensões cisalhantes transmitidas por C.S.*

recuperar" da pressão máxima da compressão histórica. Deixemos de lado a hipótese da deformação lateral nula, modelo edométrico do protótipo da camada homogênea extensa uniformemente carregada<sup>20</sup>. Sem nos delongarmos, o fato é que graficados os valores (p,  $\epsilon$ ) em semilog salientou-se a aparência sedutora das "duas retas nominais" traçadas à mão livre. Foram avidamente rotinizados os procedimentos de pressões incrementadas (a cada 24 horas<sup>21</sup>) por duplicação (pontos igualmente espaçados na coordenada log p) e as extrações **à mão livre** dos dois parâmetros mais básicos para todos os comportamentos,  $\sigma'_p$ <sup>22</sup> e  $C_c$ . Evidentemente fizeram-se ensaios (com que argilas, quantos, que ICs?) de comprovação da precompressão no ensaio, e do  $\sigma'_p$  extraído após descarga-recarga; mas custa encontrar registros de extensões e repetições experimentais, com ICs.

De qualquer forma, em resumo, resultam duas das práticas mais arraigadas da Geotecnia prática:

- a interpretação da condição preadensada (adiante discutida, OVERCONSOLIDATION RATIO OCR) da camada, como "caracterização de família";
- o cálculo preliminar de recalques usando  $\sigma'_p$  e  $C_c$ .

Cabe ressaltar ser plenamente justificado e meritório um tal "primeiro passo" de avaliação (ESTUDO DE VIABILIDADE, e mesmo ANTEPROJETO) da magnitude do previsível problema. O que importa é não confundir tal propósito com o cálculo ulterior conseqüente de valores de recalques totais e diferenciais para um caso específico. Para tal meta seria lógico exigir-se ensaio(s) especificamente programado(s), inclusive triaxiais anisotrópicos de compressibilidade, precipuamente com bom número de etapas (p,  $\epsilon$ ) no trecho de interesse específico entre pressões inicial e final,  $p_i$  e  $p_f$ . E, feitos os criteriosos ajustes pela qualidade imperfeita da amostra "nominalmente indeformada", o lógico será empregar regressões e ICs para tal trecho mais documentado. Para fins de recalques diferenciais, a DECISÃO DE PROJETO compararia as distâncias (compressões) entre ICs máximo de um com mínimo do outro. No entanto, para desafio de PREVISÃO  $\rightarrow$  COMPORTAMENTO prevalecerão as médias das regressões.

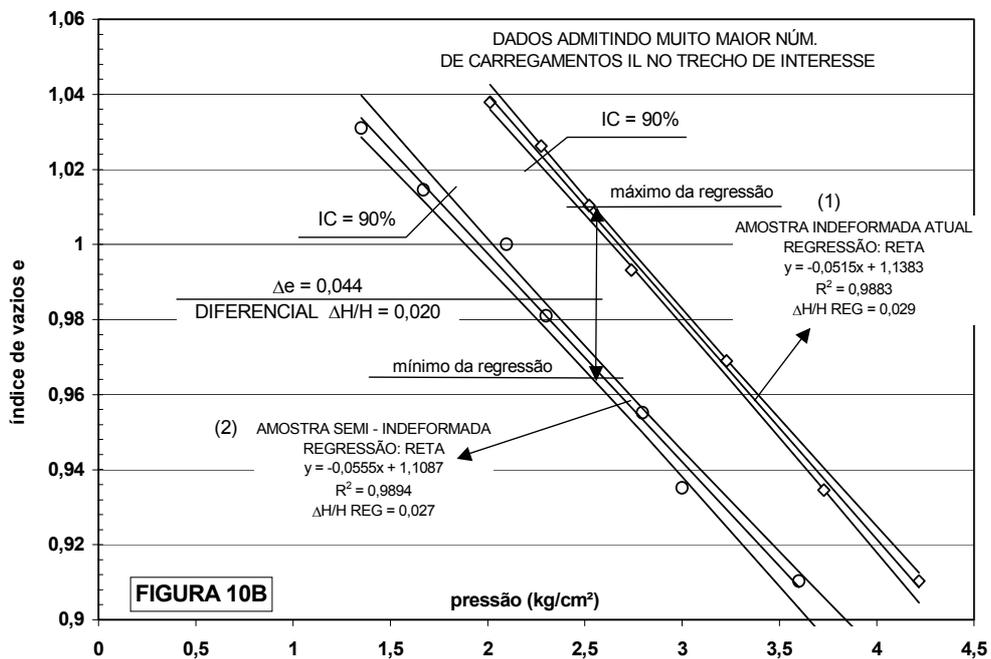
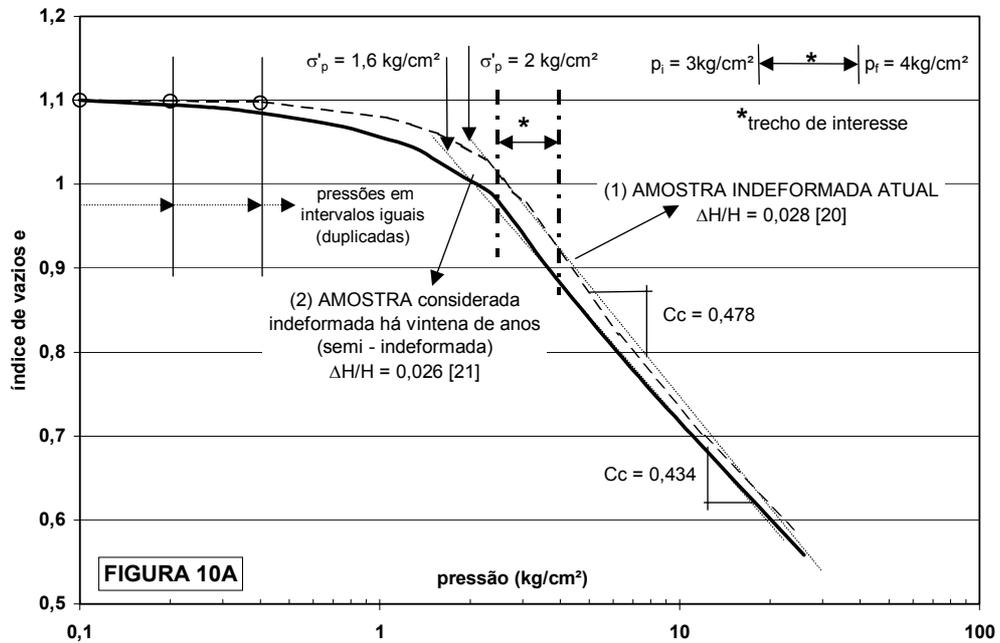
Apresentamos as Figs. 10A e 10B como memorando ilustrativo do raciocínio supra, exemplificando mais um dos MODELOS MENTAIS geradores das frustrações probabilísticas. Na Fig. 10A reproduzimos das pesquisas de Bothkennar [20] (1) a curva da declarada melhor amostra da atualidade, SHERBROOKE e (2) a curva correspondente à "melhor prática" (dos poucos melhores praticantes) da trintena de anos passados, usando o amostrador de PISTÃO de 10cm, e aproximadamente a técnica de Schmertmann [21] de correção pelo pequeno amolgamento. Veríamos que (contrário ao esperado?) a melhor prática pregressa indicaria um recalque menor do que se extrairia da melhor amostra (e prática transplantada) atual.

---

<sup>20</sup> Já dista muito do caso de edifícios (ex. Santos, Brasil) em que a tigela de recalques chega a distorções de 1:100 a até 1:50.

<sup>21</sup> Procedimento IL ("instantaneous loading") seguido há vintena de anos pelo CRS ("constant rate of strain") dependente da perfeição de medidas  $u$ . O IL, abrupto, também frequentemente deixa a posição  $\sigma'_p$  pouco documentada.

<sup>22</sup> Obtido graficamente "a olho" (Casagrande) deixando de mencionar os métodos de Janbu e Pacheco Silva (Brasil) e algum outro possível. Comparados ? ICs?



Figuras 10A e 10B – Extração dos parâmetros primordiais edométricos; primitivismo.

Na Fig. 10B repetem-se os trechos dos gráficos de compressibilidade extraído dos desenhos um número de pontos hipotéticos para determinar as regressões e ICs. Ilustra-se apenas um conceito, mas expondo já uma diferença de 7% mas em sentido inesperado (curioso?).

O campo para (e de) confusões abre-se grandemente na questão da pressão de sobreadensamento OCR, por motivo da diferença entre correlações de pesquisas laboratoriais inquestionáveis, e interpretações de subsolo quase sistematicamente induzidas a erro numérico. Decorre da relação  $OCR = \sigma'_p / \sigma'$  que, em casos de INTERPRETAÇÃO DO SUBSOLO deveria ser alterada para uma DIFERENÇA no lugar da RELAÇÃO. Já mencionei o lapso (frequente) dos ÍNDICES em que o denominador tenda a ZERO. Nos ensaios de pesquisa os valores  $\sigma'_p$  e  $\sigma'$  (aliviado do ensaio) são bem conhecidos, e  $\sigma'$  nunca se usa próximo de zero. Por outro lado, se uma camada sobrejacente provocou o  $\sigma'_p$ , o que resulta é um  $\sigma'_p - \sigma'\gamma_z = \Delta_p$  constante: seria obtido por regressão do  $\Delta_p$  contra profundidade. Ora junto ao topo da camada a pressão  $\sigma'\gamma_z$  começa próxima de zero, dando um OCR (relação) teoricamente começando do infinito, e decaindo rapidamente. É curioso observar-se com que frequência resulta a interpretação (duvidosa) de uma "crosta ressecada" em função dos gráficos de OCR vs. z. Porque é que a geohidrologia seria tão persistente em favorecer alterações do N.A. e ressecamentos só no topo, só na atualidade de um processo geológico lentamente variante?

#### 4. RESUMO E CONCLUSÕES.

##### 4.1. Opção pragmática.

Como nada é perfeito, cabe-nos escolher se é probabilisticamente mais proveitoso **adotar alguma prática simplificada, RECEITA** para uso corrente por todos no mais amplo espectro, ou admirarmos intimidados os poucos trabalhos eruditos de vanguarda merecidamente aplicados em grandes obras valiosas. Proponho a primeira opção porque absolutamente todos os ensaios, práticas, parâmetros e cálculos da Geotecnia convencional necessitam documentarem-se Estatisticamente, para revisões Probabilísticas, de Decisões de Aceitabilidade.

**4.2.** Não cabe tratar de mesma forma as condições de SUBSOLO e as de OBRAS DE TERRA executadas sob especificações, ensaios de controle, e critérios de rejeição, que fecham o círculo com as metas do PROJETO. O emprego do IC 95% (Gaussiano) (simplificadamente resumido como do "uso do fck") gerado nas estruturas de concreto, etc... **é aplicável nestas obras, mas não nos subsolos.**

**4.3.** É necessário rever as rotinas correntes (geometrizadas) das investigações para incorporarem orientações da Geologia, e das "amostragens" segundo princípios de otimização dos ICs.

**4.4.** Admitidas **maior fertilidade e relação benefício/custo da multiplicidade de dados E.**, aproximadamente válidos em termos comparativos, proponho difundir o uso sistemático das regressões EXPONENCIAIS e faixas IC (de médias e de pontos, hipótese uniformizada de distribuição Gaussiana), como **RECEITA DE REFERÊNCIA de comunicação/comparação.**

**4.5.** Para ajudar os profissionais a absorverem "nas entranhas da sabedoria e do julgamento criterioso" a enxurrada de meritórios trabalhos técnicos, é **indispensável exigir-se** que todas as

"novas propostas" (solos, ensaios, efeitos, etc...) atualmente apresentadas graficadas, sejam complementadas por análises E. expressando o **QUANTO DIFEREM"do conhecimento básico prévio."**

**4.6.** No oferecimento de tais resultados comparativos, **escolher judiciosamente entre DIFERENÇAS ou RELAÇÕES DOS EFEITOS.** Nas escolhas das Relações, freqüentemente muito proveitosas, precaver-se em obviar a situações em que o DENOMINADOR tende a zero.

## **5. REFERÊNCIAS**

- [1] Clayton, C.R.I. (2001). Managing Geotechnical risk: time for change?. Geotechnical Engineering, vol. 149, issue 1.
- [2] Briaud, J.; Tucker, L. (1988). Measured and predicted axial response of 98 piles. Jr. Geot. and Geoenviron. Eng., ASCE, vol.114, n° 9, pp.984 – 1001.
- [3] Lambe, T.W. (1973). Predictions in soil engineering. Géotechnique, vol. 23, no. 2, pp.149-202.
- [4] de Mello, Victor F.B. (1994) Embankments on soft clays, a continuing challenge of misspent efforts. Symp. Developments in Geot. Eng., Bangkok/Thailand, pp. 383-399.  
  
de Mello, Victor F.B. (1988) Risks in Geotechnical Engineering Conceptual and Practical Suggestions. Geot. Eng., Jr. of Southeast Asian Geot. Society, Vol. 19, n° 2, pp. 171-207.  
  
de Mello, Victor F.B. (1987) Risk in Geotechnical Works: Conceptual and Practical Suggestions. 8th PANAM Conf. SMFE, Cartagena/Colômbia, Vol. 4, pp. 319-347.  
  
de Mello, Victor F.B. (1984) Design Decisions, Design Calculations, and Behavior Prediction Computations: Referred to Statistics and Probabilities. 6<sup>th</sup> Conf. SMFE, Budapest/Hungary, pp. 37-44.
- [5] I Symposium on Pre-Failure Deformation Characteristics of Geomaterials, Sapporo/Japan, 1994
- [6] II Symposium on Pre-Failure Deformation Characteristics of Geomaterials, IS Torino/Italy, 1999.
- [7] Christian, J.T. et al (1992). Reliability and probability in stability analysis. Stability and Performance of slopes and embankments II, ASCE, vol.2, n° 31, pp.1071 – 1111.
- [8] Meyerhof, G.G. (1995).Development of geotechnical limit state design. Can. Geot. Jr., 32, pp.128 – 136.
- [9] Chae, Y.S. (1967). On the stability of clay masses: how safe are the “factors of safety”?. 3<sup>rd</sup> PANAM Conf. SMFE, Venezuela, vol. 2, pp.255 – 270.

- [10] Höeg, K. (1974). Probabilistic Analysis and Design of a retaining wall. *Jr. Geot. Eng. Div., ASCE*, vol. 100, GT3, pp.349 – 366.
- [11] Morgenstern, N.R. (1995). Managing risk in Geotechnical Engineering. 10<sup>th</sup> PANAM Conf. SMFE, Guadalajara, vol. 4, pp. 102 – 126.
- [12] De Mello, Victor F.B. (1977) 17<sup>a</sup> Rankine Lecture. Reflections on Design Decisions of Practical Significance to Embankment Dams. *Géotechnique, ICE*, vol. 27, n<sup>o</sup> 3, pp. 279-335.
- [13] Tsuchiya, H. (1982). Comparison between N-value and pressuremeter parameters. *Proceedings of the second European Symposium on Penetration Testing (ESOPT II), Amsterdam*, vol.1, pp.169 – 174.
- [14] Duncan, J.M. (2000). Factors of Safety and Reliability in geotechnical Engineering. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng., ASCE*, vol. 126, n<sup>o</sup> 4, pp.307- 316.
- [15] Koumoto, T. e Houlsby, G.T. (2001). Theory and practice of the fall cone test. *Géotechnique*, vol 51, n<sup>o</sup> 8, pp. 701 – 712.
- [16] McGuffey, V. et al. (1982). Conventional and probabilistic embankment design. *Jr. Geot. Eng. Div., ASCE*, vol.108, GT10, pp. 1288 – 1299.
- [17] Becker, D.E. (1996). Eighteenth Canadian Geot. Colloquium: Limit states design for foundations. Part II. Development for the National Building Code of Canada. *Can. Geot. Jr.*, 33, n<sup>o</sup> 6, pp. 984 – 1007.
- [18] de Mello, V.F.B., (1975). Some Lessons from Unsuspected, Real and Fictitious problems in earth dam engineering in Brazil. *Proc. 6<sup>th</sup> AFRICAN Conf. SMFE, Durban*, vol. 2, pp. 285-304 - Fig. 13.
- [19] de Mello, V.F.B. (1951). Ensaio de Compressão triaxial de Argilas com Medidas de Pressões Neutras. *Anais ABMS - vol.1*, pp.31 – 41.
- [20] *Géotechnique* (1992), vol. 42, n<sup>o</sup> 2, June, pp.161 – 380.
- [21] Schmertmann, J.H. (1955). The undisturbed consolidation behavior of clay. *Transactions of the American Society of Civil Engs.*, vol. 120.